ELECTRICITÄTSLEHRE

FÜR

MEDICINER.

VON

Dr. I. ROSENTHAL,

A. Ö. PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT ZU BERLIN.

Zweite vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit 55 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

BERLIN 1869.

VERLAG VON AUGUST HIRSCHWALD.

Unter den Linden 68.

Electricitätslehre für Mediciner.

Inhalt.

Cap.		Seite
1.	Von den electrischen Flüssigkeiten und ihren gegenseitigen Anziehungen und Abstossungen	1
2.	Von der Vertheilung der Electricität und einigen auf derselben beruhenden Instrumenten	13
3.	Von den electrischen Strömen und ihren Wirkungen	26
4.	Von der Electricitätserregung durch Contact und den continuirlichen electrischen Strömen	35
5.	Von der Electrolyse, der galvanischen Polarisation und den constanten Ketten	44
6.	Von der Messung der Stromstärke, dem Ohm'schen Gesetz und dem Widerstande	59
7.	Von der Stromdichte, den Zweigströmen und der Vertheilung des Stromes in nicht prismatischen Leitern	79
8.	Vom Electromagnetismus und der Erregung electrischer Ströme durch Induction	102
9.	Von der Einrichtung und dem Gebrauch des Multiplicators	129

Cap. Seite

10. Von der Messung sehr geringer Stromstärken, besonders kurzdauernder Ströme und der electrischen Zeitmessung 151

11. Von den Thermoströmen und der electrischen Temperaturbestimmung 166

12. Von der Anwendung der Electricität zu Heilzwecken 181

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die vorliegende zweite Auflage der „Eleetricitätslehre für Mediciner“ unterseheidet sich in Plan und Anlage nieht von der ersten. Die Erfahrungcn, welehe ich bei meinen Vorlesungen über diesen Gegcnstand an hiesiger Universität gemacht habe, lassen mich die gewählte Darstellungsweise als zweckmässig ansehen und daher eine Aenderung in dicser Beziehung als nicht nothwendig erseheinen. Dahingegen habe ich es mir angelegcn sein lassen, Unriehtigkeiten und Fehler zu verbessern und habe den Inhalt dureh vielfache Zusätze so bereichert, dass die Bezeichnung dieser neuen Auflage als einer vermehrtcn und verbesserten wohl gcreehtfertigt erseheinen dürfte.

Die Nothwendigkeit einer gesonderten Bearbeitung der Electricitätslehre für den Medieiner wird heute allgemein anerkannt, und an vielen Universitäten ist dieselbe zu einem stehcnden Lehrgegenstand geworden. Obgleich nun seit dem Erscheinen der ersten Auflage dieses Buehes die medicinisehe Physik als solche mehrfach bearbeitet worden ist, auch die zahlreich seitdem crschiencncn Bücher über Eleetrotherapie, sowie cin Lehrbuch der Nervcnphysiologie in cinem physiealisehen Abschnitt denselben Gegenstand bchandeln, so wird

doch eine Vergleichung des vorliegenden Büchleins mit den betreffenden Abschnitten jener Werke der Unterschiede so viele aufweisen, dass seine Berechtigung neben jenen wird anerkannt werden müssen; zumal ich auch in dieser Auflage bemüht war, Alles auszuschliessen, was einerseits Gegenstand der Physiologie, andererseits der Electrotherapie ist (so nahe auch, besonders in Bezug auf erstere, die Versuchung sein mochte), vielmehr stets bestrebt war, mich auf das rein Physikalische zu beschränken und jeden Eingriff in andere Gebiete der Wissenschaft zu vermeiden. Aus diesem Grunde hoffe ich, dass auch in seiner neuen Gestalt dieses Büchlein im Stande sein wird, neben den erwähnten noch einigen Nutzen zu stiften.

Berlin, im Mai 1869.

Der Verfasser.

Capitel I.

Von den electrischen Flüssigkeiten und ihren gegenseitigen Anziehungen und Abstossungen.

---

§. 1. Als Grund der Erscheinungen, welche wir electrische nennen, nehmen die Physiker zwei hypothetische Flüssigkeiten an, die positive und die negative Electricität, welche, selbst unwägbar, an der wägbaren Materie haftend, diese in Bewegung zu setzen oder sich selbst in jener zu bewegen vermögen, nach Gesetzen, welche wir bald näher betrachten wollen. Die Eigenschaften, welche diesen Flüssigkeiten zugeschrieben werden, sind folgende: Jede derselben stösst die ihr gleichnamige ab und zieht die entgegengesetzte an, und diese Abstossung und Anziehung geschieht in umgekehrtem Verhältniss der Quadrate ihrer Entfernungen.

Denken wir uns nun einen Körper erfüllt mit gleichen Mengen entgegengesetzter Electricitäten, welche wir mit + E und — E bezeichnen wollen, so kann dieser auf einen anderen Körper, welcher ebenfalls gleiche Mengen beider Electricitäten, etwa + e und — e, enthält, keinerlei Wirkung ausüben (ganz abgesehen natürlich von den Wirkungen der Schwere und anderer nicht electrischer Kräfte). Denn es wird ja die Abstossung zwischen + E und + e, — E und — e aufgehoben

durch die genau gleiche Anziehung zwischen + E und — e, — E und + e. Diesen Zustand der Körper, in welchem dieselben gleiche Mengen entgegengesetzter Electricitäten enthalten, in welchem sie also keiner electrischen Wirkung fähig sind, nennt man daher den uneleetrischen oder neutral electrischen Zustand.

Wenn jedoch durch irgend einen Umstand die Vertheilung der Electricitäten in einem Körper so geändert worden ist, dass er von der einen Electricität eine grössere Menge enthält, als von der entgegengesetzten, so wird er auf andere Körper anziehend oder abstossend wirken müssen, je nachdem die eine oder die andere Wirkung überwiegt. Man sagt dann der Körper besitze freie Electricität oder sei mit freier Electricität geladen, im Gegensatz zu den natürlichen Electricitäten, die alle Körper im natürlichen Zustande besitzen, u. z. sagt man, der Körper sei mit freier positiver oder negativer Electricität geladen, je nachdem er einen Ueberschuss von der einen oder anderen besitzt.

§. 2. Unter den Mitteln, durch welche eine Aenderung in der Vertheilung der Electricitäten hervorgerufen werden kann, steht obenan die Reibung. Fast stets, wenn zwei Körper an einander gerieben werden, tauschen sie einen Theil ihrer Electricitäten mit einander aus, so dass der eine einen Ueberschuss von positiver, der andere einen Ueberschuss von negativer Electricität erlangt.

Wir sehen also, dass die electrisehen Flüssigkeiten nicht unbedingt an die Körper gebunden sind, denen sie einmal anhaften, sondern dass sie von einem Körper auf den andern übergehen können, und dies giebt uns ein Mittel an die Hand, die Wirkungen zu studiren, welche die Electricitäten ausüben, wenn sie nicht in gleichen Mengen angehäuft sind und ihre Wirkung gegenseitig aufheben.

Reiben wir z. B. eine Glasstange mit einem Stücke wollenen Zeuges und berühren dann diese Stange mit einem Stückchen Blattgold, welches an einem feinen Schellackfaden befestigt ist, so nimmt es einen Theil der freien Electricität der Glasstange an. Hängen wir nun den Schellackfaden mit dem Blättchen so auf, dass das Blättchen sich in einem horizontalen Kreise drehen kann, und nähern jetzt dem Blättchen die Glasstange, so bemerken wir, dass es schon aus bedeutender Entfernung abgestossen wird. Diese Abstossung ist, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich, die Wirkung der gleichnamigen Electricitäten, welche in dem Glasstabe sowohl, als im Goldblättchen im Ueberschuss vorhanden sind.

Machen wir nun denselben Versuch mit einer Siegellackstange, so führt er zu dem nämlichen Ergebniss. Auch diese wird durch Reiben mit Wolle electrisch, auch sie giebt bei der Berührung einen Theil ihrer freien Electricität an das Goldblättchen ab und stösst dasselbe dann ab. Nähern wir aber die Siegellackstange dem Blättchen, welches mit der Glasstange in Berührung war, so erfolgt keine Abstossung, sondern eine Anziehung, und dasselbe erfolgt, wenn wir die Glasstange dem Blättchen nähern, welches mit der Siegellackstange in Berührung gewesen ist. Daraus folgt, dass die Glasstange und die Siegellackstange durch das Reiben mit Wolle zwar beide freie Electricität erlangt haben, dass aber diese in der einen die entgegengesetzte sein muss, als in der anderen. Man bezeichnet nun diejenige Electricität, welche das Glas durch Reiben mit Wolle annimmt, als die **positive**, und demgemäss die, welche das Siegellack annimmt, als die **negative**.

Welche von beiden Electricitäten ein Körper beim Reiben annimmt, hängt hauptsächlich von seiner Natur, aber auch von der des Reibzeuges und anderen Umständen ab. So wird Glas beim Reiben mit fast allen Körpern positiv electrisch, Harz fast stets negativ electrisch, weshalb man

auch die positive Electricität *Glaselectricität*, die negative *Harzelectricität* genannt hat. Aber Glas mit Katzenfell gerieben wird negativ electrisch, und ebenso wird mattgeschliffenes Glas beim Reiben mit anderen Körpern fast stets negativ electrisch. Auch glattes Glas erlangt durch Erhitzen auf 100° C. und darüber die Eigenschaft, beim Reiben mit Wolle negativ electrisch zu werden. Die Rückenhaare des Gemsbockes (der s. g. Gemsbart) werden positiv electrisch, wenn sie von der Wurzel nach der Spitze, dagegen negativ electrisch, wenn sie von der Spitze nach der Wurzel hin gestrichen werden.

Auch flüssige Körper können durch Reibung electrisch werden und den an ihnen geriebenen Körper electrisch machen. So wird durch Reiben von Quecksilber an Glas Electricität frei, und durch Reibung von Wasser an festen Körpern erhält man sehr beträchtliche Mengen freier Electricität, worauf die *Armstrong*'sche Hydroelectrisirmaschine beruht.

§. 3. Ein Stückchen Blattgold an einem Schellackfaden befestigt und mit diesem horizontal aufgehängt, wie wir es zu unseren obigen Versuchen benutzten, ist wegen seiner grossen Beweglichkeit ein sehr geeignetes Mittel um die Existenz anziehender oder abstossender Kräfte anzuzeigen, und wenn es mit einer bekannten, beispielsweise positiven Electricität geladen ist, so zeigt es auch an, welcher Art die in einem Körper durch Reiben frei gewordene Electricität ist. Denn stösst dieser Körper das Blättchen ab, so muss er selbst positiv electrisch sein, negativ dagegen, wenn er das Blättchen anzieht. Bei einem mit negativer Electricität geladenen Blättchen würde es natürlich gerade umgekehrt sein. Ein solches Instrument nennt man ein *Electroscop*, oder insofern man aus der Kraft, mit welcher die Abstossung erfolgt, auch auf die Menge der freien Electricität schliessen kann, ein *Electrometer*.

Auf diesem Wege kann man beweisen, dass *beim Reiben niemals eine einzelne Electricität allein frei wird, sondern dass die beiden an einander geriebenen Körper stets die entgegengesetzten Electricitäten annehmen*, u. z. der eine genau so viel

positive, als der andere negative. Durch die Reibung wird also keine Electricität erzeugt, es wird nur die Vertheilung derselben in den an einander geriebenen Körpern geändert, dergestalt dass der eine einen Ueberschuss von positiver, der andere einen Ueberschuss von negativer Electricität erhält.

Auch die oben erwähnte Eigenschaft des Gemsbartes kann zur Construction eines Electroscopes verwerthet werden, indem ein solches Haar, je nachdem es gestrichen worden, von positiv oder negativ geladenen Körpern abgestossen oder angezogen wird. Am bequemsten aber zur Erkennung des Vorhandenseins freier Electricität ist das in Fig. 1. abgebildete Goldblattelectroscop. Es besteht aus zwei schmalen Streifen sehr dünnen Blattgoldes, welche an einem Metallstabe befestigt und mittelst desselben im Inneren eines Glases aufgehängt sind. Berührt man den Metallstab mit einem durch Reibung electrisirten Körper, so geht ein Theil der freien Electricität auf die Goldblättchen über, welche also beide mit der gleichen Electricität geladen werden und sich daher abstossen. Bei dem geringen Gewichte der Blättchen genügen schon geringe Kräfte, um eine merkliche Divergenz hervorzubringen.



Fig. 1.

§. 4. Fasst man eine Stange Metall mit der Hand und reibt sie mit einem Stücke wollenen Zeuges, so wird sie sich bei der Prüfung durch das Electroscop unelectrisch zeigen, d. h. sie wird weder das positiv noch das negativ geladene Goldblättchen abstossen noch wird sie bei dem in Fig. 1. abgebildeten Goldblattelectroscop eine Divergenz der Goldblättchen hervorbringen. Befestigt man dagegen die Metallstange an einer Handhabe von Glas oder Siegellack und reibt sie jetzt mit der Vorsicht, sie niemals direct mit der Hand zu berühren, so wird sie sich electrisch verhalten u. z. positiv. Die geringste Berührung mit der Hand reicht aus,

ihr die freie Electricität vollständig zu rauben, sie sogleich wieder unelectrisch zu machen. Das Gleiche erfolgt, wenn man sie mit einem Draht von irgend einem Metall, mit Baumwolle, Papier und dergleichen berührt. Dagegen scheint sie nichts von ihren Eigenschaften einzubüssen, wenn man sie mit Glas, Harz, Seide berührt.

Diese Thatsachen führen zu der Ansicht, dass die Körper sich in Bezug auf die Electricität verschieden verhalten, indem die einen nicht im Stande sind, die in ihnen erregte Electricität zurückzuhalten, es sei denn, dass sie nur mit Körpern der andern Art in Berührung sind. Man erklärt sich diese Erscheinung so, dass man sagt, die erste Klasse von Körpern, wozu also die Metalle, die Leinen- und Baumwollenfaser, der menschliche Körper u. A. gehören, hat die Eigenschaft, dass die Electricität leicht von einem Theilchen zum anderen übergeht, während dies bei der zweiten Klasse nur schwer der Fall ist. Die Körper der ersten Klasse nennt man daher Leiter der Electricität, die der anderen Nichtleiter oder Isolatoren. Wird ein Leiter gerieben, indem man ihn in der Hand hält, so kann er natürlich nicht electrisch werden, denn jede Spur von freier Electricität, welche in ihm erregt wird, wird auch sofort von Theilchen zu Theilchen des Metalles bis zur Hand und durch den menschlichen Körper zur Erde fortgeleitet[1]). Anders natürlich bei einem Nichtleiter, wo die an einer Stelle durch Reiben erzeugte Electricität auf dieser Stelle bleibt, gleichgültig ob man denselben an einer anderen Stelle mit der Hand hält oder nicht. Ebenso erklärt sich hieraus, wie ein Leiter durch Reibung electrisch gemacht werden kann, wenn man ihn nur mittelst nichtleitender Handhaben anfasst, warum ein electrisch

---

[1]) Vgl. hierüber §. 6. S. 11.

gemachter Leiter sogleich unelectrisch wird, wenn man ihn mittelst eines anderen Leiters berührt u. s. w.

Die Eintheilung der Körper in Leiter und Nichtleiter ist keine absolute, insofern es hier, wie überall in der Natur, allmähliche Uebergänge giebt. Alle Metalle, Kohle, Wasser und alle wässrigen Lösungen, die meisten Gesteine und Erden, die thierischen und pflanzlichen Theile u. A. sind *Leiter*; Siegellack, Glas, alle Harze, Schwefel, Wachs, vulcanisirter Cautschuc und viele andere *Nichtleiter*. Die Luft gehört natürlich unter die Nichtleiter, da sonst die in ihr befindlichen Körper sogleich unelectrisch werden müssten, doch leitet auch die Luft, wenn sie nicht ganz trocken ist, und zwar um so besser, je mehr Wasserdampf sie enthält. Auch Glas leitet etwas, besonders wenn sich an seiner Oberfläche Wasserdampf niedergeschlagen hat. Man pflegt daher die zum Isoliren dienenden Glassäulen noch mit Schellack zu überziehen, welcher weniger hygroscopisch ist als Glas.

§. 5. Isolirt man eine metallische Kugel gut, indem man sie an einer trockenen seidenen Schnur aufhängt oder auf einem Glasfusse aufstellt, so kann man derselben mit Hülfe einer *Electrisirmaschiene*, das heisst einer Scheibe von Glas, welche zwischen zwei fest gegen sie gepressten Kissen mittelst einer Kurbel in Umdrehung versetzt wird, grosse Mengen freier Electricität mittheilen und so die Eigenschaften derselben genauer studiren. Nähert man zunächst dieser Kugel eine andere isolirte bis zur Berührung, so wird man finden, dass die zweite Kugel ebenfalls electrisch geworden und zwar mit der nämlichen Electricität geladen ist. Man kann sich hiervon sehr leicht überzeugen, wenn man an der Kugel zwei leichte Kügelchen von Hollundermark mittelst eines leinenen Fadens befestigt. Indem diese sich ebenfalls mit der Electricität der ersten Kugel laden, stossen sie sich gegenseitig ab, und wenn man sie mittelst eines isolirenden Handgriffes abhebt und ihnen eine geriebene Glasstange nähert, so wird man finden, dass sie die nämliche Electricität besitzen, als die erste Kugel hatte.

Wenn bei diesem Versuche auch an der ersten Kugel

zwei Hollundermarkkügelchen befestigt sind, so bemerkt man, dass dieselben auch nach der Berührung noch divergiren, aber nicht mehr so stark als vorher. Es ist also während der Berührung ein Theil der freien Electricität von der ersten Kugel auf die zweite übergegangen. Um jedoch die Menge zu bestimmen, welche von der ersten auf die zweite übergegangen ist, müssen wir ein Mittel haben, Electricitätsmengen mit Genauigkeit zu messen. Ein solches Mittel besitzen wir in dem kleinen Goldblättchen, das uns schon mehrfach gedient hat. Wird dieses nämlich mit einem Schellackfaden (der wie man sieht nur den Zweck hat, das Blättchen zu isoliren) an einem feinen Metalldraht oder Coconfaden aufgehängt, so nimmt es bald einen festen Stand an, aus dem es nicht gebracht werden kann, ohne dass der Draht torquirt wird. Stellt man nun neben das Goldblättchen ein anderes, mit Electricität geladenes, so geht ein Theil der Electricität von dem festen auf das bewegliche Blättchen über, und dieses wird jetzt, da es mit derselben Electricität geladen ist, abgestossen. Da nun aber durch diese Abstossung die Entfernung der beiden Goldblättchen, also auch die Kraft, mit welcher sie auf einander wirken, sich ändert, so kann man aus der Ablenkung keine directen Schlüsse auf die Electricitätsmengen machen. Dreht man nun aber den Knopf, an welchem der Metalldraht befestigt ist, zurück, bis die beiden Goldblättchen sich wieder berühren, so ist klar, dass jetzt zwei Kräfte in entgegengesetzter Richtung auf das bewegliche Goldblättchen einwirken, nämlich erstens die abstossende Kraft der Electricität, welche das bewegliche Goldblättchen von dem festen zu entfernen strebt, zweitens die Torsion des Drahtes, welche es trotz jener abstossenden Kraft gerade in Berührung mit dem festen Goldblättchen hält. Diese letztere Kraft muss also der ersteren genau gleich sein. Nun ist aber die durch die Torsion ausgeübte Kraft proportional dem Winkel, um welchen der

Draht torquirt ist. Folglich giebt der Winkel, um welchen man den Knopf zurückdrehen musste, ein Maass für die dem Goldblättchen mitgetheilte Electricitätsmenge. Ein solches Instrument nennt man nach seinem Erfinder eine Coulomb'sche Drehwage oder ein Coulomb'sches Electrometer.

Berührt man nun die mit Electricität geladene Kugel A mit einem solchen isolirten Goldblättchen, stellt dieses neben das bewegliche Goldblättchen der Drehwage und notirt den Winkel, um welchen man den Knopf zurückdrehen muss, bis die Goldblättchen sich wieder berühren, berührt dann die Kugel A mit einer ihr ganz gleichen B und prüft jetzt abermals an der Drehwage, indem man beide Goldblättchen erst ableitend berührt, um ihnen die vom früheren Versuch noch vorhandene Electricität zu nehmen, das feste Goldblättchen an die Kugel A anlegt und wieder neben das bewegliche stellt, so findet man, dass dieses jetzt weniger abgelenkt wird, und dass man den Knopf nur um die Hälfte des früheren Winkels zurückzudrehen braucht, um die Goldblätter wieder aneinander zu bringen. Die Kugel A muss also bei der Berührung an B die Hälfte ihrer freien Electricität abgegeben haben. In der That, prüft man B ganz auf die nämliche Weise, so wird man finden, dass sich auf beiden Kugeln genau gleiche Electricitätsmengen befinden müssen, denn wenn man das feste Goldblättchen an B anlegt, so lenkt es das bewegliche um denselben Winkel ab, als vorher, und man muss abermals den Knopf um den gleichen Winkel zurückdrehen, wenn die Goldblättchen wieder zusammenkommen sollen.

§. 6. Da die Electricität in einem Leiter sich frei bewegen kann, und da die Theilchen einer und derselben Electricität sich gegenseitig abstossen, so folgt daraus, dass die in einem isolirten Leiter vorhandene freie Electricität ganz und

gar auf seiner Oberfläche angehäuft sein muss. Denn die einzelnen Electricitätstheilchen werden einander so lange abstossen, bis sie an der Oberfläche des Leiters angelangt sind, wo sie natürlich bleiben müssen, da sie nicht in die nichtleitende Luft übergehen können. Man kann sich hiervon durch den Versuch überzeugen, indem man irgend einen Leiter, etwa eine Metallkugel, ladet und dann über dieselbe zwei genau anschliessende Halbkugelschalen von Blech schiebt, die man an isolirenden Griffen hält. Beim Zurückziehen derselben mird man finden, dass die Kugel vollkommen unelectrisch ist, und dass sämmtliche Electricität derselben auf die Kugelschalen übergegangen ist. Dasselbe würde auch mit einem Leiter von irgend einer anderen Gestalt der Fall sein. Die gesammte Electricität also, welche einem Leiter mitgetheilt wird, sammelt sich in Gestalt einer dünnen Schicht an dessen Oberfläche an. Hat man nun zwei Leiter von ähnlicher Gestalt, aber verschiedener Oberfläche, etwa zwei Kugeln von verschiedenem Durchmesser, und theilt beiden die gleiche Electricitätsmenge mit, so wird diese auf verschieden grosse Oberflächen vertheilt sein. Auf dem gleichen Flächenraum, etwa 1 □ Cm. wird also bei der kleineren Kugel mehr Electricität vorhanden sein, als bei der grösseren. Man nennt nun diejenige Electricitätsmenge, welche auf der Einheit des Flächenraums vorhanden ist, die Dichte der Electricität, und man kann daher sagen, dass wenn Kugeln von verschiedenen Oberflächen mit gleichen Electricitätsmengen geladen sind, die Dichten sich umgekehrt verhalten wie die Oberflächen oder, was dasselbe ist, umgekehrt wie die Quadrate der Radien.

Indem die dem leitenden Körper mitgetheilte freie Electricität durch die gegenseitige Abstossung ihrer Theilchen sich auf der Oberfläche des Körpers ansammelt, bildet sie hier eine Schicht von sehr geringer Dicke. Die Dicke dieser Schicht wird aber abhängen von der Grösse der Oberfläche

und der Menge der auf ihr angesammelten Electricität. Es ist also diese Dicke eigentlich nichts Anderes, als ein anderer Ausdruck für das, was wir soeben als die **Dichte** der freien Electricität an der Oberfläche der Körper definirt haben. Da nun diese freie Electricität auf der Oberfläche des Leiters nur zurückgehalten wird durch die Unmöglichkeit in die nichtleitende Umgebung überzugehen, so steht sie unter einem von Innen nach Aussen wirkenden **Druck**, welcher der Menge der im Körper vorhandenen freien Electricität direct proportional ist. Man bezeichnet diesen Druck als die **Spannung** der freien Electricität, und wenn diese Spannung sehr beträchtlich wird, so vermag sie den Widerstand der isolirenden Luft zu überwinden, und der Leiter verliert einen Theil seiner Electricität. Es ist daher unmöglich einem Körper freie Electricität in unbegrenzter Menge zuzuführen, sondern wenn die Spannung oder Dichte der Electricität an seiner Oberfläche so gross geworden ist, dass sie den Widerstand des umgebenden Medium überwindet, so wird alle Electricität, die man ihm noch zuführt, entweichen. Dies Maximum hängt ab von der Beschaffenheit des umgebenden Mediums. Bei feuchter Luft z. B. ist der Widerstand geringer, welcher sich dem Entweichen der Electricität entgegensetzt. Man kann dann die Körper nicht stark laden. Setzt man einen mit freier Electricität geladenen Körper durch einen Leiter mit dem Erdboden in Verbindung, so geht die freie Electricität auf den Erdboden über. Da aber dieser eine so ungeheure Oberfläche hat, so wird die Spannung auf ihm sofort unmerklich, und es geht daher sehr schnell alle freie Electricität von dem Körper nach dem Erdboden, und der Körper wird ganz unelectrisch. Man nennt dies einen Körper **entladen**.

Von diesen Thatsachen kann man sich mittelst der Drehwage überzeugen; denn wenn man verschiedene Kugeln mit denselben Electricitätsmengen ladet und sie mit dem

Probescheibchen berührt, (so wollen wir fortan das feste Goldblättchen der Drehwage nennen, dessen abstossende Wirkung auf das bewegliche beobachtet wird), so muss man, um die Goldblättchen wieder zur Berührung zu bringen, den Knopf des Electrometers um Winkel drehen, welche den Quadraten der Radien proportional sind. Dabei ist es ganz gleichgültig, an welcher Stelle einer Kugel man das Probescheibchen anlegt, man würde stets dieselbe Ablenkung erhalten. Prüft man jedoch einen mit freier Electricität geladenen Leiter von anderer Gestalt, etwa einen Cylinder mit abgerundeten Endflächen, so wird man finden, dass das Probescheibchen eine viel grössere Electricitätsmenge aufnimmt, also das bewegliche Goldblättchen viel stärker abgelenkt wird und nur durch eine stärkere Drehung des Knopfes in seine Lage zurückgebracht werden kann, wenn man es an die Enden des Cylinders anlegt, als wenn man ihn in seiner Mitte berührt. Während also bei der Kugel die Dichte der Electricität überall auf ihrer Oberfläche dieselbe ist, ist sie an den verschiedenen Stellen des Cylinders verschieden, und das letztere findet auch bei allen Körpern von irgend welcher anderen Gestalt statt. Sind die Körper lang im Verhältniss zu ihrer Dicke, so sammelt sich die Electricität hauptsächlich an ihren Enden an. Vorzugsweise aber sind es die convexen Partien der Oberflächen und noch mehr die vorspringenden Kanten und Spitzen, wo die Electricität sich anhäuft, und sie kann hier sogar eine solche Spannung erlangen, dass sie den Widerstand der Luft überwindet und ausströmt, bis der Leiter ganz unelectrisch geworden ist. Man muss daher allen Körpern, welche zu electrischen Versuchen dienen sollen, möglichst abgerundete Ecken geben, wenn die freie Electricität sich in ihnen erhalten soll.

Capitel II.

Von der Vertheilung der Electricität und einigen auf derselben beruhenden Instrumenten.

§. 7. Nähert man einen isolirten mit freier Electricität geladenen Leiter A einem anderen ebenfalls isolirten Leiter B, an welchem an verschiedenen Stellen kleine Hollundermarkkügelchen aufgehängt sind, bis zu einer gewissen Entfernung, so

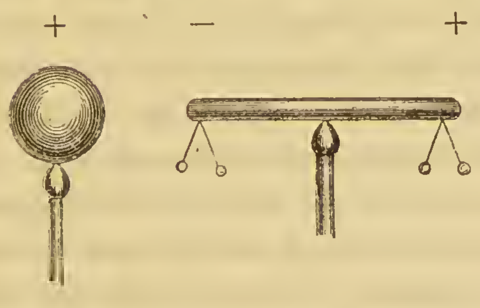


Fig. 2.

wird man finden, dass dieser zweite Leiter ebenfalls electrische Eigenschaften annimmt, indem die an ihm befestigten Hollundermarkkügelchen divergiren. Jedoch findet dies nicht auf allen Punkten des zweiten Leiters gleich stark statt, sondern am meisten an den Puncten, welche dem electrischen Körper A am nächsten, oder von ihm am entferntesten sind, und je näher der Mitte, um so schwächer, während endlich die gerade in der Mitte aufgehängten Kügelchen unbewegt bleiben. Sowie man den Leiter A entfernt, ist B wieder vollkommen unelectrisch, und so kann man den Versuch öfter hintereinander

wiederholen, vorausgesetzt, dass man sich hütet, die beiden Leiter jemals in Berührung zu bringen.

Um nun zu erfahren, von welcher Art die Electricität sei, welche in dem Leiter B durch die Annäherung des Leiters A erregt wird, prüfen wir dieselbe mittelst des Electroscops. Wir berühren den Leiter B, während der mit freier Electricität geladene Leiter A in seiner Nähe steht, mit dem Probescheibchen und nähern dieses dem beweglichen Goldblättchen der Drehwage, welches wir vorher mit einer bestimmten Electricität, etwa positiver, geladen haben. Je nachdem dann das Goldblättchen abgestossen oder angezogen wird, muss die zu prüfende Electricität ebenfalls positiv oder negativ sein. So ausgeführt zeigt der Versuch, dass die an den beiden Enden von B angehäufte Electricität von entgegengesetzter Art ist, und zwar findet sich stets in dem Ende von B, welches A zugewandt ist, die entgegengesetzte Electricität, als in A selbst, in dem von A abgewandten Ende des Leiters B dagegen ist die gleiche Electricität enthalten als in A.

Aus diesem Befunde können wir uns über den Vorgang, welcher bei Annäherung des Leiters A an den Leiter B Statt hat, folgende Vorstellung machen. Die in A angehäufte freie Electricität wirkt auf die beiden in gleichen Mengen vorhandenen natürlichen Electricitäten in B, sie zieht die *ungleichnamige* an und stösst die *gleichnamige* ab. Diese müssen sich also vorzugsweise in den Enden von B anhäufen, die gleichnamige in dem von A abgewandten, die ungleichnamige in dem A zugewandten Ende. In der Mitte wird gar keine freie Electricität sein können. Entfernt man A, so vereinigen sich die getrennten Electricitäten in B wieder, der Körper ist wieder neutral oder unelectrisch.

§. 8. Mit dieser Vorstellung ausgerüstet, wollen wir versuchen, die Erscheinungen weiter zu verfolgen. Wir vertauschen zunächst den Leiter B mit einem anderen, ihm ganz

ähnlichen, welcher jedoch aus zwei trennbaren Theilen besteht. Wir stellen jetzt den beispielsweise mit positiver Electricität geladenen Körper A so neben dem theilbaren Leiter auf, dass seine Theile B_1 und B_2 mit A in einer geraden Linie liegen und zwar sei B_1 der A zugewandte Theil. Es wird sich dann die freie negative Electricität in B_1, die positive in B_2 ansammeln. Wenn wir nun, während A an seinem Platze bleibt, B_1 und B_2 von einander trennen, und jetzt A entfernen, so können die durch die Einwirkung von A von einander geschiedenen Electricitäten in B_1 und B_2, obgleich der Einwirkung von A entzogen, sich dennoch nicht vereinigen; B_1 und B_2 bleiben geladen und zwar mit verschiedenen Electricitäten. Wir haben also durch die Wirkung der freien Electricität in A zwei andere Körper electrisch gemacht, ohne dass A dabei eine Spur seiner Electricität eingebüsst hätte. Man nennt dies Electricitätserregung durch Vertheilung oder Influenz, und die Wirkung, welche ein electrischer Körper auf die in seiner Nähe befindlichen Leiter ausübt, die vertheilende oder influenzirende Wirkung der freien Electricität, weil die neutral-electrische, das heisst in gleichen Mengen vorhandene positive und negative Electricität in dem influenzirten Körper anders vertheilt worden ist, so dass jetzt jede einzeln als freie Electricität zur Wirkung kommt. Auch folgt aus dieser Vorstellung, dass wenn man die Leiter B_1 und B_2 auch nur für einen Augenblick in Berührung bringt, sie wieder vollkommen unelectrisch werden müssen, was die Erfahrung auch bestätigt.

Denken wir uns nun wieder, wie in unserem ersten Versuch den mit positiver Electricität geladen Leiter A dicht neben dem unelectrischen Leiter B aufgestellt. Es wird dann die in B vorhandene natürliche Electricität zum Theil zerlegt, es sammelt sich die positive Electricität an dem von A entfernten, die negative an dem A zugewandten Ende von B an.

Berühren wir nun B ableitend, so entweicht die positive Electricität desselben nach dem Erdboden. Dagegen bleibt die negative Electricität, welche in dem A zugewandten Ende von B angehäuft ist, da sie von der positiven Electricität in A angezogen wird, an ihrer Stelle. Die positive Electricität in A und die negative Electricität in B verhalten sich also, obgleich sie in getrennten Körpern sich befinden, gewissermaassen ähnlich, wie die beiden natürlichen Electricitäten in einem und demselben Körper. Sie **binden** sich gegenseitig und zwar natürlicher Weise um so inniger, je näher die beiden Körper einander sind. Hebt man nun die Verbindung von B mit der Erde auf, und entfernt dann A, so verbreitet sich die bisher in dem A zugewandten Ende von B angehäufte Electricitätsmenge über den ganzen Körper B und vertheilt sich auf demselben in Gemässheit seiner Gestalt. Es ist dies also eine zweite Art, wie man durch **Vertheilung** oder **Influenz** eines electrischen Körpers A einen anderen B electrisch machen kann, ohne dass A dadurch das Geringste von seiner Electricität einbüsst.

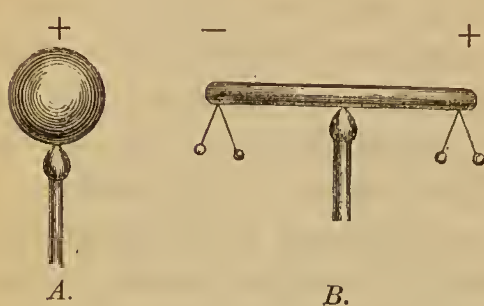


Fig. 3.

Aus dieser Wirkung der Electricität erklärt sich auch eine Erscheinung, welche bei electrischen Körpern meist zuerst in die Augen fällt, nämlich die Anziehung unelectrischer Körper. Nähert man einem leichtbeweglich aufgehängten unelectrischen Körper A einen anderen mit freier, beispielsweise **positiver** Electricität geladenen Körper B, so werden die natürlichen Electricitäten in A vertheilt. In dem B zugewandten Theile von A häuft sich die **negative**, in dem

abgewandten Theile die positive Electricität an. Da nun die erstere dem positiven Körper B näher ist, als die letztere, so überwiegt die Anziehung jener über die Abstossung dieser, und der ganze Körper A wird von B angezogen. Kommen beide zur Berührung, so neutralisiren sich die negative Electricität von A und ein Theil der positiven von B gegenseitig, A bleibt positiv geladen und B hat einen Theil seiner positiven Electricität eingebüsst. Es ist dies die genauere Zergliederung des Vorganges, welchen wir im vorigen Capitel als Mittheilung der Electricität kennen gelernt haben.

Auf der vertheilenden Wirkung der freien Electricität beruhen verschiedene Einrichtungen und Apparate, mit denen wir uns jetzt bekannt machen wollen:

§. 9. Zunächst die sogenannten Einsauger an den Electrisirmaschienen. Eine Electrisirmaschiene besteht nothwendiger Weise aus drei Theilen: 1. Dem durch Reibung electrisch zu machenden Körper (eine Glasscheibe oder Glascylinder oder auch eine Platte vulcanisirten Kautschuks); 2. dem Reibzeug, meist bestehend aus einem mit Zinkamalgam[1]) bestrichenen Lederkissen. Gewöhnlich bringt man zwei

[1]) Bunsen (Gasometrische Methoden 51) empfiehlt als sehr wirksam folgendes Amalgam: Man erhitze 2 Theile Quecksilber in einem gewöhnlichen Probirgläschen und löse darin unter stetem Umrühren ein Theil klein zertheiltes dünnes Zinkblech und ein Theil Stanniol auf. Das erhaltene Amalgam schmelze man noch 6—8 Mal unter stetem Umrühren um, damit es recht geschmeidig werde, und streiche es auf ein Stück dickes Seidenzeug. Reibt man damit eine 2 Fuss lange und 1½ Zoll dicke Porzellanröhre, so erhält man binnen wenigen Secunden eine genügende Menge Electricität, um eine kleine Kleist'sche Flasche (Siehe §. 11) stark zu laden. Beim Reiben lege man das Seidenzeug so um die Röhre, dass die reibende Fläche nur halb mit Amalgam bedeckt ist. Dies ist besonders nützlich zur Entzündung des Knallgases bei der Gasanalyse. (Vgl. §. 16. S. 32).

solche Kissen an, welche die Scheibe zwischen sich fassen und mittelst Federn und Schrauben gegen dieselbe gepresst werden; 3. dem *Conductor*, das heisst einem durch Glasfüsse wohl isolirten Leiter (Kugel oder Cylinder mit abgerundeten Enden, von Metallblech oder auch von Holz und mit Stanniol beklebt), welcher die in der Glasscheibe erzeugte Electricität aufnehmen soll. Dieser Conductor nun ist mit zweien oder mehren Spitzen versehen, welche nahe an der Glasscheibe stehen, da wo diese das Reibzeug verlässt. Ist nun das Reibzeug zur Erde abgeleitet, und dreht man die Glasscheibe mittelst der Kurbel, so wird sie positiv electrisch. Diese positive Electricität zieht in der ihr gegenüber stehenden Spitze die negative Electricität aus dem Conductor an und stösst die positive ab. Die negative Electricität aber erlangt in der Spitze nach den oben besprochenen Gesetzen eine solche Dichte, dass sie den Widerstand der Luft überwindet, die dünne Luftschicht zwischen Spitze und Glas durchbricht, sich mit der positiven Electricität der Glasscheibe verbindet und diese neutralisirt. So wird die Glasscheibe immer wieder unelectrisch, um später durch die Reibung von Neuem electrisch zu werden, während der Conductor sich mit positiver Electricität ladet.

§. 10. Ein zweites wichtiges Instrument, das sich auf Vertheilung gründet, ist der *Condensator*, erfunden von *Volta*. Er dient dazu, kleine Mengen freier Electricität erkennbar zu machen, was bei vielen wichtigen Versuchen von grosser Bedeutung ist. Zu diesem Behuf verbindet man ihn mit dem oben beschriebenen Goldblattelectroscop. Streicht man den Knopf des letzteren mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange, so nehmen die Goldblättchen eine bestimmte Electricitätsmenge auf, stossen einander ab und nehmen daher eine mehr oder weniger divergirende Stellung an. Berührt man den Knopf ableitend, so fallen sie wieder zusammen. Der

Antheil von Eleetrieität, welehen die Goldblättehen aufnehmen, hängt ab von der Spannung der Electricität auf dem berührenden Körper und dem Verhältniss ihrer Oberflächen. Ist nun dieser Antheil sehr gering, so reicht er nicht aus, der Schwere entgegen die Goldblättehen zu einer merkliehen Divergenz zu bringen. Nun wollen wir den Knopf des Elcetroseops mit dem Condensator (Fig. 4) verbinden. Dieser besteht aus zwei Platten von Metall, der unteren, auf ciner isolirenden Glasstange aufgestellten, welehe auf ihrer oberen Fläche mit einer dünnen Schieht eines gut isolirenden Firnisses überzogen ist, und der oberen, welehe auf ihrer oberen Fläche mit einem isolirenden Handgriff versehen ist. Setzt man die obere Platte auf die untere auf, berührt diese untere mit einem positiv eleetrisehen Körper, während man die obere in leitende Verbindung mit der Erde bringt, so nimmt die untere Platte einen kleinen Theil positiver Eleetricität auf. Diese zieht in der oberen Platte die negative Eleetrieität an und stösst die positive Eleetrieität ab, welehe naeh dem Erdboden entweieht. Die in der oberen Platte angezogene negative Eleetrieität wirkt nun aber ihrerseits wieder anziehend auf die positive Electricität der unteren Flatte und bindet sie, so dass diese keine freie Spannung erlangt. In Folge dessen kann die untere Platte noch mehr freie positive Eleetrieität aus dem Leiter aufnehmen, diese zieht wieder die negative Eleetrieität der oberen Platte an und stösst die positive ab, welehe naeh dem Erdboden entweicht u. s. f. Man sieht, dass auf diese Weise die untere Platte weit mehr Eleetrieität aus dem Leiter aufnimmt, als sie sonst thun würde, und dass in der oberen Platte eine entspreehende Menge Eleetrieität von entgegenge-

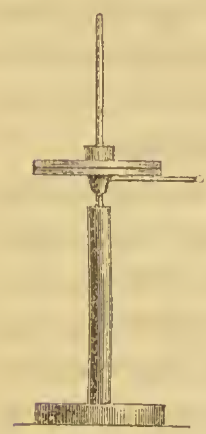


Fig. 4.

setztem Vorzeichen gebunden sein wird. Hebt man nun die Verbindung der oberen Platte mit dem Erdboden auf und entfernt dieselbe mittelst des isolirenden Handgriffes, so wird die ganze Electricitätsmenge in der unteren Condensatorplatte frei, und wenn man sie mit dem Knopf des Goldblattelectroscopes berührt, so weichen dessen Blättchen sehr beträchtlich auseinander.

Man kann auch die untere Condensatorplatte unmittelbar auf der Metallstange des Goldblattelectroscopes festschrauben und erhält dann nach Ladung derselben ganz auf die oben beschriebene Weise und nach Abhebung der oberen Platte den verstärkten Ausschlag der Goldblättchen.

Mit Hülfe der vertheilenden Wirkung der freien Electricität kann man auch sehr leicht entscheiden, von welcher Art eine irgendwie erzeugte Electricität ist. Wir berühren mit dem electrischen Körper den Knopf des Electroscops und die Goldblättchen divergiren. Wir nähern nun eine geriebene Glasstange dem Knopfe des Electroscops langsam aus der Ferne und sehen die Divergenz der Goldblättchen entweder grösser oder kleiner werden. Im ersteren Falle muss die zu prüfende Electricität positiv, im letzteren negativ sein. Ist nämlich das Electroscop mit positiver Electritität geladen, so wird diese bei Annäherung des Glasstabes, welcher ja ebenfalls freie positive Electricität enthält aus dem Knopf nach den Goldblättchen getrieben, hier wird also die Spannung vermehrt, und die Divergenz wächst. Ist jedoch das Electroscop mit negativer Electricität geladen, so wird diese durch die positive Electricität des Glasstabes nach dem Knopfe hingezogen, in den Goldblättchen wird die Spannung vermindert, und die Divergenz nimmt ab.

§. 11. Auf demselben Princip wie der Condensator beruht die Leydener oder Kleist'sche Flasche, mit Hülfe deren man beträchtliche Electricitätsmengen ansammeln kann,

um dann deren Wirkung zu studiren. Sie besteht aus einer Flasche oder einem Glase, welches aussen und innen mit einer leitenden Substanz, etwa Stanniol, bis zu einer gewissen Höhe belegt ist. Der Rand ist ausserdem noch zur besseren Isolation mit Schellak überzogen und die innere Belegung läuft in einen in der Mitte des Glases stehenden und etwas über dessen Rand hervorragenden metallenen Knopf aus. Setzt man die äussere Belegung in Verbindung mit der Erde und legt den Knopf an den Conductor der Electrisirmaschiene, so geht die positive Electricität auf die innere Belegung über, zersetzt die natürliche Electricität der äusseren Belegung, zieht die negative an und stösst die positive ab, welche nach der Erde entweicht. Man ist somit im Stande auf der inneren Belegung grosse Mengen positiver und auf der äusseren eine entsprechende Menge negativer Electricität anzusammeln. Verbindet man dann die äussere und innere Belegung durch einen Leiter, so vereinigen sich die entgegengesetzten Electricitäten wieder in der Form des electrischen Stromes, von welchem und seinen Wirkungen im folgenden Capitel die Rede sein soll.

Um zu berechnen, wie stark die Ladung sein kann, die eine Leydener Flasche annimmt, nennen wir die der inneren Belegung zugeführte Electricitätsmenge + A. Diese bindet auf der äusseren Belegung eine Electricitätsmenge — B. Da die beiden Belegungen um die Dicke der isolirenden Glasschicht von einander getrennt sind, so muss nothwendig — B absolut genommen etwas kleiner sein als + A. Wir wollen annehmen es sei $= {}^{99}/_{100}$ A. Dann bindet jedenfalls — B auf der inneren Belegung eine positive Electricitätsmenge, welche absolut genommen gleich ist ${}^{99}/_{100}$ B. Es ist also auf der inneren Belegung an gebundener Electricität vorhanden ${}^{99}/_{100} \cdot {}^{99}/_{100}$ A $= {}^{9801}/_{10000}$ A, und an freier Electricität A — ${}^{9801}/_{100000}$ A $= {}^{199}/_{1000}$ A, was nahezu ${}^{1}/_{50}$ A ist. Diese freie Electricität von A bindet nun wieder eine entsprechende Menge auf B und wird zum Theil von ihr gebunden u. s. f. Von der ganzen der inneren Belegung zugeführten Electricität wird also nur ein Theil frei sein, das Meiste gebunden. Die innere Belegung wird also viel mehr Electricität aufnehmen können, als ihr sonst vermöge ihrer Oberfläche möglich gewesen wäre. Das Verhältniss von B zu A, welches wir Beispiels halber

gleich $^{99}/_{100}$ annahmen, wird natürlich, alles andere gleichgesetzt, von der Dicke der isolirenden Substanz abhängen und sich um so mehr der Einheit nähern, je dünner diese ist. Die ganze Betrachtung ist natürlich auch für die Condensatoren gültig.

Um sehr bedeutende Electricitätsmengen anzusammeln, muss man die Oberflächen der Belegungen möglichst vergrössern. Da sehr grosse Flaschen ausserordentlich unbequem wären, so verbindet man die äusseren und inneren Belegungen mehrer Flaschen unter einander. Eine solche Anordnung nennt man eine electrische Batterie.

§. 12. Mit Hülfe der Vertheilung kann man auch grosse Electricitätsmengen von bedeutender Spannung erzeugen. Hierzu dient am besten die von Holtz erfundene Influenz- oder Vertheilungsmaschiene, welche in Fig. 5 dargestellt

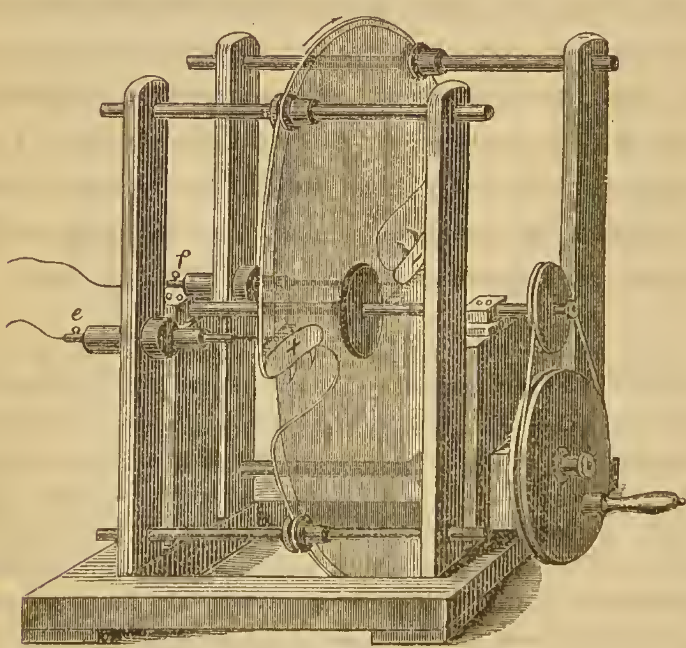


Fig. 5.

ist. Sie besteht aus zwei parallel und möglichst nahe an einander aufgestellten Glasscheiben. Die eine von beiden ist fest und mit zwei diametral gegenüber stehenden Ausschnitten versehen, an welchen gezahnte Papierstücke, die so genannten Belegungen, der Glasplatte angeklebt sind. Die zweite Glas-

platte kann in schnelle Rotation um eine senkrecht zu beiden Platten stehende Axe versetzt werden. Den Belegungen der festen Scheibe gerade gegenüber stehen vor der beweglichen Scheibe zwei Einsauger e und f, ganz wie die bei den Electrisirmaschienen üblichen eingerichtet. Die den Einsaugern gegenüber befindlichen Belegungen wollen wir mit e′ und f′ bezeichnen. Theilen wir nun der einen Belegung, etwa e′ eine geringe Menge positiver Electricität mit, so wirkt diese vertheilend auf die bewegliche Glasscheibe und auf den Einsauger e. Auf den letzteren geht positive Electricität über, auf der beweglichen Glasscheibe aber sammelt sich negative an. Setzen wir nun diese in Drehung und kommt der betreffende Theil derselben vor die Belegung f′ so geht die negative Electricität zum Theil auf den Einsauger f, zum Theil auf die Belegung f′ über. Dadurch ist also die Belegung f′ negativ geladen worden. Diese negative Electricität von f′ wirkt nun ihrerseits wieder auf die Glasscheibe und den Einsauger f, sie theilt diesem negative, der Glasscheibe aber positive Electricität mit, welche letztere nach einer halben Umdrehung wieder zum Theil auf die Belegung e′, zum Theil auf den Einsauger e übergeht. Wie man sieht, verstärken also die beiden Belegungen ihre Spannung gegenseitig, und dies hat nicht eher ein Ende, als bis das Maximum der Spannung erreicht ist, welches bei dem Isolationszustand der einzelnen Theile der Maschiene möglich ist.

Wie die auf die Einsauger e und f übergehenden Electricitätsmengen sich ferner verhalten, wollen wir im nächsten Capitel weiter untersuchen.

§. 13. Das letzte Instrument, welches wir hier noch zu betrachten haben, ist der Electrophor, mit dessen Hülfe man sich in Ermangelung einer Electrisirmaschiene auf verhältnissmässig bequeme Weise grössere Electricitätsmengen verschaffen kann. Der Electrophor besteht aus einer Platte

von Harz, dem sogenannten Kuchen[1]), welcher in einer Metallbüchse, der Form, enthalten ist, und einer Metallscheibe mit isolirendem Handgriff, dem Deckel, welcher jedoch einen geringeren Durchmesser haben muss, als der Kuchen. Man reibt diesen letzteren, welcher möglichst dünn sein muss, mit einem recht trockenen Katzenfell oder Fuchsschwanz, wodurch der Kuchen negativ electrisch wird. Setzt man den Deckel auf den Kuchen, so dass er nirgends die Form berührt, so zersetzt die negative Electricität des Kuchens die natürlichen Electricitäten in Form und Deckel. In der Form häuft sich die positive Electricität an der oberen, dem Kuchen zugekehrten Seite an, die negative an der unteren, im Deckel ist es natürlich umgekehrt. Berührt man nun die Form ableitend, so entweicht deren negative Electricität nach dem Erdboden. Stellt man jetzt eine leitende Verbindung zwischen Form und Deckel her, so verbindet sich die negative Electricität des letzteren mit der positiven der ersteren, und der Deckel behält nur die durch den Kuchen gebundene positive Electricität. Sobald man nun den Deckel an seinem isolirenden Handgriff vom Kuchen abhebt, wird diese positive Electricität frei und kann auf eine Leydener Flasche oder wohin man sonst will, übertragen werden. Indem man dieses Verfahren öfter wiederholt, kann man ganz beträchtliche Mengen positiver Electricität erhalten, ohne dass der Kuchen merklich von seiner Wirksamkeit verliert.

Man kann noch verschiedene Modificationen in dem beschriebenen Verfahren anbringen, so z. B. Form und Deckel einzeln ableiten, oder auch

---

[1]) Nach Berzelius besteht eine gute Kuchenmasse aus 10 Theilen Gummilack, 3 Theilen Harz, 2 Theilen venetianischem Terpentin, 2 Theilen Wachs und $1/2$ Theil Pech. In neuerer Zeit wendet man wohl auch statt der Harzkuchen Platten von Hartgummi an. Die Form kann dann ganz entbehrt werden.

die Form ganz isoliren und nur den Deckel ableiten. Die Vorgänge hierbei ergeben sich einfach aus den Gesetzen der Vertheilung. Beim Gebrauch des Electrophors hat man besonders darauf zu achten, dass der Deckel niemals mit der Kante allein den Kuchen berührt, weil sonst an dieser Stelle die Dichte der positiven Electricität so gross werden würde, dass sie zum Kuchen übergehen und sich mit der negativen Electricität desselben neutralisiren würde.

Capitel III.

Von den electrischen Strömen und ihren Wirkungen.

---

§. 14. Wir haben bisher die Electricität nur im Zustande der Ruhe betrachtet, wo sämmtliche auf sie wirkende Kräfte sich im Gleichgewicht befanden. Jetzt wollen wir auf die Vorgänge eingehen, welche Statt haben, wenn dieses Gleichgewicht gestört wird, und die electrischen Theilchen sich in Bewegung setzen, um die neue, durch die veränderten Bedingungen ihnen zukommende Gleichgewichtslage aufzusuchen.

Setzt man einen mit positiver Electricität geladenen und isolirten Conductor durch einen Leiter, beispielsweise einen Metalldraht in Verbindung mit der Erde, so wird der Conductor unelectrisch, indem seine ganze Electricitätsmenge nach der Erde entweicht, wo sie wegen der unendlich grossen Oberfläche eine so geringe Dichte erlangt, dass sie unmerklich wird. Was ist nun in dem Leiter vorgegangen, während sich die Electricität des Conductor durch ihn hindurch nach der Erde hin bewegte?

Um hierüber zu einer klaren Vorstellung zu gelangen, wollen wir uns den leitenden Draht denken als zusammengesetzt aus lauter parallelen Streifen oder Querschnitten welche sämmtlich senkrecht auf der Längsaxe des Drahtes stehen,

und welche wir der Reihe nach mit 1, 2, 3 u. s. f., vom Conductor aus nach der Erde hin gezählt, bezeichnen wollen.

Im ersten Moment der Berührung nun wird die freie Electricität des Conductors die natürlichen Electricitäten im Querschnitt 1 zersetzen, die negative anziehen und die positive abstossen. Die angezogene negative Electricität wird sich mit einem Bruchtheil der positiven Electricität des Conductors verbinden und diesen neutralisiren; der Conductor hat also einen Theil der freien Electricität eingebüsst und dafür ist der Querschnitt 1 mit einer gleichen Menge positiver Electricität geladen.

Im zweiten Zeitmoment wird nun die freie Electricität des Querschnittes 1 wieder vertheilend wirken auf die natürlichen Electricitäten des Querschnittes 2, sie wird dessen negative Electricität anziehen und sich mit ihr neutralisiren, während der Querschnitt 2 mit positiver Electricität geladen bleibt.

Im dritten Zeitmoment wird sich zwischen dem Conductor und dem Querschnitt 1, welcher ja jetzt wieder unelectrisch geworden ist, derselbe Vorgang wiederholen wie im ersten, und gleichzeitig wird zwischen dem Querschnitt 2 und dem Querschnitt 3 dasselbe Statt finden, was im zweiten Zeitmoment zwischen den Querschnitten 1 und 2 Statt fand. Und so wird der Process immer weiter fortgehen und sich in jedem Zeitmoment auf einen Querschnitt mehr fortpflanzen, bis er an der Erde anlangt. Aus dieser wird der letzte Querschnitt negative Electricität aufnehmen, um sich mit ihr zu neutralisiren, die dadurch freigewordene positive Electricität der Erde wird natürlich unmerklich sein. Da nun aber der letzte Querschnitt von dem vorletzten wieder positive Electricität empfängt, dieser wieder vom drittletzten u. s. f., so wird der ganze Vorgang nicht eher ein Ende haben können, als bis sämmtliche freie Electricität vom Conductor und dem

Draht verschwunden und beide wieder unelectrisch geworden sind.

Wenn man sich nun die Querschnitte, in welche wir den Draht zerlegt haben, unendlich dünn und die einzelnen Zeitmomente unendlich kurz denkt, so sieht man, dass der ganze Vorgang darin besteht, dass continuirlich freie positive Electricität in der Richtung vom Conductor zur Erde, freie negative Electricität dagegen in der Richtung von der Erde zum Conductor sich fortpflanzt. Dabei ist es ganz gleichgültig, ob man sich vorstellt, wie wir gethan haben, dass die in einem Querschnitt auftretende freie Electricität in diesem durch Vertheilung von dem vorhergehenden Querschnitt entstanden ist, oder direct von dem vorhergehenden auf diesen übergegangen, denn das schliessliche Resultat bleibt dadurch ungeändert.

Denken wir uns nun den Conductor statt mit positiver mit negativer Electricität geladen, so wird der Vorgang ganz der nämliche sein, nur dass jetzt die negative Electricität in der Richtung vom Conductor zur Erde, die positive dagegen von der Erde zum Conductor sich fortpflanzt. Einen solchen Vorgang nun, in welchem sich die beiden Electricitäten mit gleichen Geschwindigkeiten in entgegengesetzter Richtung durch denselben Leiter bewegen, nennt man einen *electrischen Strom*, und man nennt *Richtung des electrischen Stromes* diejenige, in welcher sich die positive Electricität fortpflanzt, indem es sich von selbst versteht, dass die negative sich dann in entgegengesetzter Richtung bewegen muss.

§. 15. Wenn wir nun zwei Conductoren nehmen, von denen der eine mit positiver, der andere mit negativer Electricität geladen ist, und diese durch einen leitenden Draht in Verbindung setzen, so wird in dem Draht wesentlich derselbe Vorgang stattfinden, als hätten wir jeden der Conductoren einzeln mit der Erde in Verbindung gesetzt. Von der Seite des positiven Conductors her wird durch die Vertheilung von

Querschnitt zu Querschnitt eine Bewegung der positiven Electricität vom Conductor nach der Mitte des Drahtes zu und eine Bewegung der negativen Electricität von der Mitte nach dem Conductor zu stattfinden; umgekehrt wird sich auf der Seite des negativen Conductors die negative Electricität nach der Mitte zu, die positive dagegen von der Mitte nach dem Conductor hin bewegen. In der Mitte selbst werden die von beiden Seiten kommenden entgegengesetzten Electricitäten sich gegenseitig neutralisiren. Man sieht also, dass der electrische Strom in beiden Hälften des Drahtes ein und dieselbe Richtung hat nämlich von dem positiven nach dem negativen Conductor hin.

Statt zweier einzelner mit positiver und negativer Electricität geladener Conductoren kann man sich bei diesem letzten Versuche natürlich mit Vortheil einer Kleist'schen Flasche oder einer Batterie bedienen, da die beiden Belegungen einer solchen ja nur zwei Conductoren vorstellen, welche ausserordentlich stark mit positiver und negativer Electricität geladen sind. In der That, wenn wir diese durch einen Leiter mit einander verbinden, so erhalten wir einen Strom von der positiven zur negativen Belegung und eines so erzeugten Stromes, bedient man sich daher vorzugsweise zu den Versuchen über den electrischen Strom.

Am besten jedoch eignet sich zum Studium der electrischen Ströme und ihrer Wirkungen die in §. 12 beschriebene Holtz'sche Maschiene. Verbindet man die Einsauger e und f durch einen Draht und setzt die Maschiene in Gang, so vereinigen sich die positive Electricität von e und die negative von f sofort wieder miteinander und der Draht ist von einem stetigen electrischen Strome durchflossen. Wenn man aber die Drähte, die von e und f ausgehen, in zwei Knöpfen ausgehen lässt, und diese Knöpfe, nachdem die Maschiene in Gang gesetzt worden, allmählich von einander entfernt, so kann die

Electricität erst übergehen wenn die Dichte auf den Knöpfen hinreichend gross geworden ist, um den Widerstand der Luft zwischen den Knöpfen zu durchbrechen, und man erhält dann eine Reihe von einzelnen Entladungen oder Strömen, welche um so seltner auf einander folgen, aber auch um so heftiger sind, je grösser die Entfernung der Knöpfe ist.

Man kann auch die Holtz'sche Maschiene mit der Kleist'schen Flasche verbinden, und so noch heftigere Entladungen erzielen. Verbindet man nämlich die Einsauger e und f mit den beiden Belegungen der Kleist'schen Flasche, während gleichzeitig von diesen Belegungen in Knöpfe auslaufende Drähte ausgehen, deren Knöpfe in verschiedenen Entfernungen einander gegenüber gestellt werden, so gehen die Electricitäten von den Einsaugern e und f auf die Belegungen der Kleist'schen Flasche über, binden sich hier gegenseitig und vereinigen sich erst dann durch die Knöpfe, wenn ihre Dichte eine hinreichend grosse geworden. Wegen der gegenseitigen Bindung auf den Belegungen der Kleist'schen Flasche kann man aber viel grössere Electricitätsmengen anhäufen, welche auch noch bei sehr bedeutenden Entfernungen der Knöpfe sich zu vereinigen vermögen.

§. 16. Die Wirkungen der electrischen Ströme sind sehr mannichfaltige. Wir wollen hier eine kurze Uebersicht derselben geben, indem wir diejenigen, welche für unsere Zwecke ein besonderes Interesse haben, später noch ausführlich werden zu besprechen haben.

Wenn man eine Kleist'sche Flasche mit einem s. g. Auslader, d. h. einem Bogen von Metall, welcher mit einem isolirenden Handgriff versehen ist, entladet, indem man das eine Ende des Ausladers an die äussere Belegung bringt, und das andere der inneren Belegung allmählich nähert, so bemerkt man, dass wenn der Auslader dem Knopf der inneren Belegung bis auf eine bestimmte Entfernung sich genähert

hat, plötzlich ein Funke überspringt, der je nach der Stärke der Ladung mehr oder weniger hell leuchtet und zugleich von einem Schall begleitet ist. Indem nämlich durch die Vertheilung schon während der Annäherung des Ausladers auf diesem sich die entgegengesetzte Electricität ansammelt, als auf dem Knopf der Flasche, erlangt die Electricität eine solche Dichte, dass sie endlich den Widerstand der Luft überwindet, und diese unter Lichtentwickelung und Schallerregung durchbricht. Die Entfernung, bei der dies geschieht, nennt man die Schlagweite. Sie hängt natürlich von der Dichte der Electricitäten an den betreffenden Stellen ab.

Am besten bedient man sich natürlich zur Ladung und Entladung der Kleist'schen Flasche der im vorigen Paragraphen beschriebenen Verbindung der Flasche mit der Holtz'schen Maschiene, indem die dort beschriebenen Knöpfe gleich die Rolle des Ausladers spielen. Man kann auf diese Weise eine Schlagweite von 10—20 Cm. mit verhältnissmässig kleinen Apparaten erreichen.

Giebt man dem Auslader eine solche Einrichtung, dass man das eine seiner Enden in beliebiger Entfernung von dem Knopf der inneren Belegung feststellen kann, und führt dieser fortwährend Electricität zu (indem man sie mit dem Conductor einer in Bewegung gesetzten Electrisirmaschiene verbindet), so erhält man natürlich jedesmal einen Funken und also auch einen Strom, sobald die Ladung diejenige Stärke erlangt hat, welche der gewählten Entfernung entspricht. Auf diese Weise ist man im Stande, eine Anzahl Ströme von stets derselben Stärke nach einander zu erhalten. Eine solche Flasche nennt man eine Lane'sche Maassflasche. Verbindet man die äussere Belegung einer isolirten Flasche oder Batterie mit der inneren Belegung einer Maassflasche, deren äussere Belegung zur Erde abgeleitet ist, so werden beide gleichzeitig geladen, sobald man der inneren Belegung der ersten Flasche oder Batterie Electricität zuführt. Die auf der äusseren Belegung dieser ersten abgestossene gleichnamige Electricität begiebt sich nämlich zur inneren Belegung der Maassflasche. Hat die Ladung in dieser eine bestimmte Stärke erreicht, so springt ein Funke über und die Maassflasche entladet sich. Die Anzahl der überspringenden Funken ist also ein directes Maass für die Stärke der Ladung, welche man der ersten Flasche oder Batterie mitgetheilt hat.

Bringt man in der Leitung, welche die innere und äussere Belegung verbindet, noch eine Unterbrechungsstelle an, so kann auch hier die Electricität mit Funkenbildung überspringen, wenn die Entfernung nicht zu gross ist. Schiebt man statt der Luftschicht irgend einen anderen Isolator ein, so wird dieser durchbrochen, falls die Ladung stark genug ist. Bringt man in die Unterbrechungsstelle einen leicht entzündbaren Körper, wie Aether, Schiesspulver u. s. w., so wird er entzündet. Knallgas verbindet sich, wenn der Funke durchschlägt, sogleich zu Wasser.

Man benutzt dies bei der Gasanalyse zur Bestimmung des Sauerstoffes oder Wasserstoffes. Um nämlich in einem Gasgemenge den O-gehalt zu bestimmen, fängt man es über Quecksilber in einem graduirten Glasrohr auf, in welchem oben zwei Platindrähte eingeschmolzen sind, welche eine kleine Luftstrecke zwischen sich freilassen. Ein solches Glasrohr nennt man ein Eudiometer. Man fügt dann eine abgemessene Menge H zu und lässt einen electrischen Funken durchschlagen. O und H verbinden sich zu Wasser, und da dieses einen im Vergleich zu dem Knallgase, aus welchem es entstanden ist, unendlich kleinen Raum einnimmt, so erfährt man aus der Volumsverminderung, welche das Gasgemenge erfahren hat (natürlich unter Berücksichtigung des Druckes, der Temperatur etc.), wieviel O in dem Gemenge enthalten war. Umgekehrt muss man, um den H-gehalt eines Gemenges zu bestimmen, O zufügen und dann verpuffen.

Wenn man die beiden Enden des Leiters einander gegenüberstellt und ein Kartenblatt dazwischen schiebt, so wird dieses stets an der Stelle durchbohrt, wo die negative Electricität herkommt. Es ist dies also ein Mittel, um die Richtung eines Stromes zu bestimmen, wenn sie sonst unbekannt ist.

Schaltet man in die Leitung Glasröhren ein, in welchen die Luft sehr verdünnt ist, und leitet den Strom durch ein-

geschmolzene Metalldrähte ins Innere der Röhren, so geht er durch die verdünnte Luft und diese wird dabei glühend und leuchtet im Dunkeln. Man kann diese nach ihrem Erfinder als „Geisler'sche Röhren" bezeichneten Röhren mit verschiedenen Gasen füllen und man findet dann, dass jedes Gas mit einer anderen Farbe leuchtet, welche bei der Zerlegung durch das Prisma für jedes Gas characteristische Spectra giebt. Auch die Natur der eingeschmolzenen Metalldrähte hat jedoch auf das Spectrum Einfluss, indem sich unter der Einwirkung des Stromes etwas von dem Drahte verflüchtigt und ins Glühen geräth. Desshalb sind diese Geisler'schen Röhren sehr geeignet, um die characteristischen Spectra der Substanzen zu untersuchen.

Flüssigkeiten, welche den Strom leiten, wie Wasser, Säuren und Basen, Salzlösungen, werden durch den electrischen Strom in ihre Bestandtheile zerlegt. Die Gesetze dieser chemischen Wirkung des Stromes werden wir später genauer betrachten.

Leitet man den Strom durch feine Drähte, so werden diese erwärmt und wenn der Strom stark ist, verbogen und zersplittert.

Leitet man den Strom durch Spiralen von Draht, in deren Inneren sich Nähnadeln befinden, so werden diese magnetisirt. Die Richtung der Magnetisirung ist nicht constant. Man kann daher dieses Mittel nicht zur Bestimmung der Stromesrichtung benutzen.

Leitet man den Strom bei einer Magnetnadel vorbei, so wird diese abgelenkt, so dass sie sich senkrecht zur Richtung des Stromes zu stellen sucht. Von dieser Wirkung wird später ausführlich die Rede sein.

Leitet man den Strom durch den menschlichen Körper, so fühlt man einen erschütternden Schlag, welcher je nach der Stärke des Stromes mehr oder minder heftig ist. Ein in den

Strom eingeschalteter Muskel geräth in Zuckung. Leitet man den Strom so durch den Körper, dass er in der Nähe des Auges ein- oder austritt, so sieht man einen Blitz. Von diesen und anderen physiologischen Wirkungen kann hier nicht genauer gehandelt werden, da ihre Betrachtung der eigentlichen Physiologie anheimfällt. [1])

---

[1]) Von einer Form des electrischen Stromes muss hier noch besonders die Rede sein, weil sie zur Entdeckung der thierischen Electricität und der Electricitätserregung durch Contact Veranlassung gegeben hat. Nähert man nämlich einem mit der Erde in leitender Verbindung stehenden Conductor A, einen anderen mit freier Electricität geladenen B, so wird in A die ungleichnamige Electricität angezogen, die gleichnamige abgestossen, welche nach der Erde entweicht. Entzieht man nun plötzlich dem Conductor B seine Electricität, so wird die Electricität in A sich, da sie jetzt nicht mehr gebunden ist, mit der der Erde ausgleichen, der Leiter also von einem Strom durchflossen werden. Diese Erscheinung wurde zuerst beim Gewitter beobachtet und mit dem Namen des Rückschlages bezeichnet. Denken wir uns nun den Leiter A durch einen Muskel ersetzt, so wird dieser jedesmal zucken, sobald B durch Berührung unelectrisch wird. Galvani, welcher diesen Vorgang zuerst beobachtete, glaubte die Ursache in einer den thierischen Theilen selbst innewohnenden Electricität suchen zu müssen. Durch seine und Volta's fernere Untersuchungen wurde diese Beobachtung die Quelle zweier grosser Wissenschaften, nämlich des in den folgenden Capiteln zu besprechenden Galvanismus und der Electrophysiologie.

Capitel IV.

Von der Electricitätserregung durch Contact und den continuirlichen electrischen Strömen.

---

§. 17. Wir haben bisher unter den Mitteln, die electrischen Flüssigkeiten von einander zu trennen, nur die Reibung betrachtet. Indem wir nun einige andere als für unsere Zwecke weniger wichtig übergehen, wenden wir uns zur Betrachtung der Electricitätserregung durch Contact. In der That genügt es, dass zwei Leiter, welche nicht homogen sind, einander berühren, um die natürlichen Electricitäten in ihnen zu zersetzen und den einen positiv, den anderen negativ electrisch zu machen.

Man nehme eine Kupfer- und eine Zinkplatte, beide mit isolirenden Handgriffen versehen und auf einer Seite glatt polirt, lege sie mit diesen Seiten auf einander und berühre die äusseren Flächen beider ableitend. Trennt man sie jetzt mittelst der isolirenden Handgriffe und prüft sie einzeln am Electroscop mit Hülfe des Condensators, so wird man die Zinkplatte positiv, die Kupferplatte negativ electrisch finden. Es versteht sich von selbst, dass bei diesem Versuche die eine Condensatorplatte von demselben Metalle sein muss, wie das, womit sie berührt wird, weil sonst schon durch diese Berührung Electricität frei würde.

Durch die Berührung beider Platten in diesem Versuch ist an der Berührungsfläche eine Scheidung der Electricitäten in beiden Platten vor sich gegangen. Man hat sich zu denken, dass die positive Electricität der Zink- und die negative Electricität der Kupferplatte nach der Berührungsfläche hingezogen worden sind und sich dort gegenseitig gebunden haben. Durch die ableitende Berührung wurden die frei gewordene positive Electricität der Kupfer- und die negative der Zinkplatte entfernt. Bei der Trennung der Platten werden dann die früher an der Berührungsfläche sich bindenden Electricitäten frei und können am Condensator nachgewiesen werden.

Statt mit Zink und Kupfer kann man denselben Versuch auch mit anderen Leitern anstellen, immer wird der eine positiv, der andere negativ electrisch werden. Nach Volta wird in der folgenden Reihe jeder Körper positiv, wenn er mit einem ihm in der Reihe folgenden berührt wird, und dieser selbst negativ, und zwar um so stärker, je weiter die beiden Körper in der Reihe auseinander stehen. Diese Reihe, welche man mit dem Namen der Spannungsreihe bezeichnet, lautet: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Wismuth, Kupfer, Platin, Gold, Silber, Kohle, Reissblei, verschiedene Kohlenarten und krystallisirter Braunstein.

§. 18. Auch die Berührung fester Körper mit Flüssigkeiten bewirkt eine Vertheilung der Electricität; so werden alle Metalle, wenn sie in destillirtes Wasser oder verdünnte Säuren getaucht werden, negativ electrisch, während die Flüssigkeit positiv electrisch wird. Die Stärke dieser Wirkung ist bei verschiedenen Metallen und verschiedenen Flüssigkeiten verschieden. So wird Zink in verdünnter Schwefelsäure viel stärker negativ, als Kupfer. Stellt man nun ein Stück Zink und ein Stück Kupfer gleichzeitig in ein Glas mit verdünnter Schwe-

felsäure, so überwiegt die positive Electricität, welche die Flüssigkeit in Berührung mit dem Zink annimmt, so über die negative Electricität, welche das Kupfer, wenn es allein in der Flüssigkeit wäre, annehmen würde, dass auch das Kupfer freie positive Electricität annimmt. Diese wird aber vermindert um den Betrag der negativen Spannung, welche das Kupfer durch die Berührung mit der Schwefelsäure angenommen hat. Andererseits wird auch die negative Spannung des Zinks verringert durch die positive Spannung, welche die Schwefelsäure durch die Berührung mit dem Kupfer angenommen hat und welche sich von der Schwefelsäure auf das Zink ausbreitet. Es sei z. B. die negative Spannung, welche Zink in verdünnter Schwefelsäure annimmt, gleich — 100, also die der Schwefelsäure gleich + 100, ferner die Spannung des Kupfers in Schwefelsäure gleich — 10, also die der Schwefelsäure + 10, so wird also, wenn Zink und Kupfer zugleich in Schwefelsäure stehen, die Spannung des Kupfers sein müssen gleich — 10 + 100 = + 90, und ebenso die des Zinks gleich — 100 + 10 gleich — 90.

Man nennt nun die Differenz der Spannungen, welche zwei Körper erlangen, wenn sie in einer und derselben Flüssigkeit stehen, die electromotorische Kraft dieser Combination. Man kann die Metalle in eine Reihe ordnen, in welcher jedes mit einem ihm in der Reihe folgenden combinirt negativ electrisch wird. Es versteht sich von selbst, dass eine solche Reihe nur für eine bestimmte Flüssigkeit Geltung hat. Combinirt man die Metalle in einer andern Flüssigkeit, so ändern sich die Spannungen. Doch sind die Abweichungen in der Reihenfolge der Metalle nur unwesentlich. Für verdünnte Schwefelsäure ist nach Poggendorff's Versuchen die Spannungsreihe folgende: Zink, Zinn, Blei, Eisen, Kupfer, Silber, Platin, Kohle. Diese Reihe lehrt aber nicht blos die Art der Electricität kennen, welche an jedem der combinirten Metalle auf-

tritt, sondern bezieht sich auch auf die Grösse der electromotorischen Kraft einer solchen Combination. Denn nach Poggendorff's Versuchen ist die electromotorische Kraft zwischen zwei Gliedern der Reihe stets die Summe der electromotorischen Kräfte aller zwischen ihnen in der Reihe befindlichen Glieder.

Die electromotorische Kraft zwischen Zink und Kupfer ist, wie wir oben sahen, gleich 90. Die Spannung, welche Eisen in verdünnter Schwefelsäure annimmt, ist gleich — 40. Mithin ist die electromotorische Kraft zwischen Zink und Eisen gleich 100 — 40 = 60; und die zwischen Eisen und Kupfer gleich 40 — 10 = 30. Also ist die electromotorische Kraft zwischen Zink und Eisen plus der electromotorischen Kraft zwischen Eisen und Kupfer gleich der electromotorischen Kraft zwischen Zink und Kupfer. Und dies gilt auch für alle übrigen Glieder der Spannungsreihe.

Eine solche Combination von zwei Metallen in einer Flüssigkeit nennt man eine offene Kette. Verbindet man die beiden Metalle ausserhalb der Flüssigkeit durch einen Draht, so heisst die Kette geschlossen. Den die Metalle verbindenden Draht nennt man den Schliessungsbogen. In diesem Falle vereinigen sich die beiden entgegengesetzten Electricitäten durch den Draht hindurch mit einander, dieser wird also von einem electrischen Strom durchflossen. Während aber die durch Reibungselectricität hervorgebrachten Ströme nur so lange andauern, bis die vorher auf den Conductoren angesammelten Electricitäten sich neutralisirt haben, dauert bei den durch Contact verursachten Strömen die Ursache der verschiedenen Spannung der Metalle immer fort, wir erhalten also in dem sie verbindenden Leiter einen dauernden Strom, welcher nicht eher ein Ende hat, als bis die letzte Spur des einen Metalls von der Flüssigkeit aufgelöst ist. Man kann aber diese Ströme beliebig unterbrechen und wieder herstellen, wenn man die leitende Verbindung zwischen den Metallen unterbricht oder wieder herstellt. Wenngleich also die Spannung, welche die Metalle in der Flüssigkeit erlangen,

nur äusserst geringfügig gegen diejenige ist, welche man durch Reibung herstellen kann, wenn also auch in derselben Zeit sich sehr viel geringere Electricitätsmengen durch den Schliessungsbogen bewegen, so sind doch viele Wirkungen der electrischen Ströme mit Hülfe der Contactströme deutlicher und stärker zu erzielen, eben wegen ihres gleichmässigen Anhaltens. Uebrigens werden wir bald Mittel kennen lernen, die Wirkungen dieser Ströme wesentlich zu verstärken.

Ueber die Richtung, welche der Strom im Schliessungsbogen hat, kann man nicht zweifelhaft sein, da er stets von dem in der Spannungsreihe später stehenden Metall zu dem früher stehenden gerichtet sein muss. In der in Fig. 6 abgebildeten Kette sind Kupfer und Zink als die beiden Metalle gedacht; der Strom geht hier im Schliessungsbogen vom Kupfer zum Zink. Da nun aber durch die Wirkung des Contacts fortwährend negative Electricität aus der Flüssigkeit zum Zink und positive Electricität vom Zink zur Flüssigkeit und von dieser zum Kupfer sich bewegt, so circulirt also auch in der Flüssigkeit ein Strom und zwar vom Zink zum Kupfer, also in entgegengesetzter Richtung als im Schliessungsbogen. Es ist dieser Umstand ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen den Contact- oder galvanischen Strömen und den durch Reibungselectricität erzeugten, da die ersteren nur bestehen können in einem vollständig zum Kreise geschlossenen System von Leitern, während bei den durch Reibungselectricität erzeugten Strömen die Leitung immer an einer Stelle durch einen Nichtleiter unterbrochen ist.

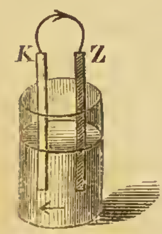


Fig. 6.

Um zu bezeichnen, dass der Strom im Schliessungsbogen die Richtung vom Kupfer zum Zink habe, nennt man das hervorragende Ende des Kupfers den **positiven**, das des Zinks den **negativen Pol**. Da aber bekanntlich Zink in Berührung mit Kupfer positiv electrisch wird, so nennt man das Zink das **positive** und das Kupfer das **negative Metall**. Man

darf sich hierdurch nicht irre führen lassen, sondern merke sich ein für alle Mal die Regel, dass in der Flüssigkeit der Strom stets vom positiven zum negativen Metall gerichtet ist, im Schliessungsbogen also umgekehrt, dass also das negative Metall stets den positiven Pol bildet.

Eine Combination zweier Metalle in einer und derselben Flüssigkeit, wie sie Fig. 6 darstellt, nennt man eine einfache Kette. Man kann die Wirkung derselben aber wesentlich verstärken, wenn man eine Anzahl solcher Ketten zu einer zusammengesetzten Kette vereinigt, indem man immer den positiven Pol der einen Kette mit dem negativen der folgenden verbindet. Der negative Pol der ersten und der positive Pol der letzten bleiben dann frei. In diesem Zustande heisst dann die zusammengesetzte Kette offen. Es summiren sich dann die Spannungen, welche in jedem Element das Zink und das Kupfer erlangen, indem die Spannung eines jeden Elementes durch Leitung auch den benachbarten mitgetheilt wird, so dass die Pole der Kette eine viel grössere Spannung erlangen, als in einem Element allein. Verbindet man die freien Pole durch einen Schliessungsbogen, so muss man also in diesem einen stärkeren Strom erhalten.

§. 20. In einer offenen Kette, sei dieselbe nun eine einfache oder zusammengesetzte, hat jeder Pol freie Electricität von einer gewissen Spannung, und zwar ist diese, wie sich aus dem vorhergehenden ergiebt, an jedem Pol absolut genommen gleich, aber von entgegengesetzten Vorzeichen an beiden Polen. Verbindet man die Pole durch einen Schliessungsbogen, so gleichen sich die Spannungen durch denselben ganz in derselben Weise ab, wie wir dies im dritten Capitel bei den durch Reibungselectricität erzeugten Strömen entwickelt haben, nur mit dem einzigen Unterschiede, dass die durch Abgleichung verloren gegangene electrische Spannung durch die electromotorische Kraft stets wieder erneuert wird. Es herrscht also an den beiden Polen stets eine be-

stimmte Spannung, wie sie der electromotorischen Kraft der Kette entspricht, und die wir für den positiven Pol + a, für den negativen Pol — a nennen wollen. Die Spannung + a am positiven Pol wird in dem ihr zunächst gelegenen Querschnitte die natürlichen Electricitäten vertheilen, sich mit der negativen vereinigen, die positive frei machen. Dadurch erhält also dieser Querschnitt ebenfalls freie positive Electricität. Diese freie Electricität des ersten Querschnittes wirkt nun wieder auf den zweiten vertheilend, und dieser erhält wieder freie Electricität, und so fort in jedem folgenden Querschnitte. Ganz dasselbe findet natürlich auch mit der negativen Electricität auf der Seite des negativen Poles statt. Der electrische Strom kommt also hier ganz auf dieselbe Weise zu Stande, wie wir dies bei der Verbindung zweier mit entgegengesetzten Electricitäten geladenen Conductoren gesehen haben und die beiden Electricitäten bewegen sich gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung durch den Schliessungsbogen. Nun kann aber nicht auf allen Theilen des Schliessungsbogens die gleiche Spannung herrschen. Vielmehr wird der dem positiven Pole zunächst gelegene Querschnitt auf der einen Seite stets freie positive Electricität von der Spannung + a empfangen, auf der anderen Seite stets einen Theil derselben an seinen Nachbarquerschnitt abgeben. Deshalb wird die Spannung in diesem Querschnitt also um einen gewissen Werth geringer sein als + a. Auf dieselbe Weise empfängt der zweite Querschnitt des Schliessungsbogens fortwährend freie positive Electricität von dem ersten und giebt fortwährend wieder solche an den dritten Querschnitt ab, in ihm ist also die Spannung wieder geringer, als im ersten Querschnitt. Ganz dasselbe findet aber auch am negativen Pole mit der negativen Electricität statt. Wir kommen so zu dem Schlusse, dass von den beiden Polen her auf dem Schliessungsbogen eine allmähliche Abnahme der freien Spannung stattfinden muss, auf der einen

Seite der positiven, auf der anderen Seite der negativen Electricität und dass in der Mitte des Schliessungsbogens die Spannung Null sein muss. Diese Folgerung kann auch experimentell bestätigt werden, wenn man mit genügend empfindlichen Electrometern die einzelnen Punkte des Schliessungsbogens prüft.

§. 21. Hat man eine Kette zusammengestellt und schliesst und öffnet dieselbe, indem man den Schliessungsbogen aus zwei Theilen macht, die man mit einander in Berührung bringt und wieder von einander trennt, so sieht man bei der Trennung einen Funken, allerdings von viel geringerer Intensität, als bei den durch Reibungselectricität entstehenden. Am hellsten noch wird der Funke, wenn die Schliessung und Oeffnung in Quecksilber geschicht, indem man den einen Leitungsdraht des Schliessungsbogens in Quecksilber leitet, und den andern abwechselnd in dasselbe eintaucht und heraushebt. Das Quecksilber verbrennt dabei und bedeckt sich an der Stelle, wo der Draht öfter herausgehoben wird, mit einer Oxydschicht. Dass bei der Annäherung der Leitungsdrähte aneinander kein Funke auftritt, hat seinen Grund in der zu geringen Spannung. Zusammengesetzte Ketten von tausend und mehr Elementen geben auch starke Schliessungsfunken.

Leitet man den Strom mittelst eines gerad ausgespannten Drahtes parallel unter oder über einer Magnetnadel fort, so sieht man, dass diese abgelenkt wird, und zwar je nach der Anzahl der Elemente um einen geringeren oder grösseren Winkel, bis sie zuletzt senkrecht auf der Richtung des Stromes steht.

Die Richtung der Ablenkung ist aber gerade die entgegengesetzte, wenn man den Strom über, als wenn man ihn unter der Nadel fortleitet und ebenso kehrt sich die Richtung der Ablenkung um, wenn man bei unveränderter Lage des

Stromes zur Nadel, die Richtung des Stromes in dem Drahte umkehrt, indem man das Ende, welches mit dem positiven Pole in Verbindung war, mit dem negativen verbindet und umgekehrt. Um nun für jede Richtung des Stromes und jede Stellung der Nadel zu demselben leicht die Richtung der Ablenkung zu finden, ist die Ampère'sche Regel sehr bequem. Danach soll man sich denken, es sei eine menschliche Figur in den Strom eingeschaltet und zwar so, dass dieser zu den Füssen ein und zum Kopf wieder austritt, und es habe diese Figur ihr Gesicht der Nadel zugewandt, dann wird stets der Nordpol der Nadel nach der Linken der Figur hingedreht. Es ergiebt sich aus dieser Regel, dass die einzelnen Theile eines Stromes, welcher im Kreise um eine Nadel herumgeleitet wird, alle in gleichem Sinne ablenkend auf die Nadel wirken, sich also in ihrer Wirkung gegenseitig verstärken. Ist nun der Strom sehr schwach, so muss die ablenkende Wirkung wesentlich verstärkt werden, wenn man denselben in mehrfachen Windungen wiederholt um die Nadel herumführt. Man hat nur dafür zu sorgen, dass der Strom alle Windungen nach einander durchfliesst, und nicht von einer auf die andere überspringt, indem man den leitenden Draht mit einer nicht leitenden Hülle umgiebt.[1] Ein solches Instrument, welches zur Erkennung schwacher Ströme und zur Bestimmung ihrer Richtung dient, nennt man dann einen Multiplicator, weil die Wirkung des Stromes auf die Nadel durch die vielen Windungen vervielfältigt wird. Um die Nadel recht beweglich zu machen, hängt man sie an einem Coconfaden auf. Bei einer späteren Gelegenheit wird über den Bau dieses Instrumentes noch ausführlicher die Rede sein.

[1] Man wendet zu diesem Zwecke mit Seide besponnene Drähte an, welche ausserdem noch mit einem gut isolirenden Firniss überzogen werden. Für gewöhnliche Versuche reicht es aus, wenn die Leitungsdrähte mit in Wachs getränkter Baumwolle besponnen sind.

Capitel V.

Von der Electrolyse, der galvanischen Polarisation und den constanten Ketten.

---

§. 22. Lässt man die Leitungsdrähte des Schliessungsbogens in Platinbleche enden und taucht diese in ein Glas mit Wasser, so geht der Strom durch das Wasser, da dieses ein Leiter ist. Man sieht dann an den Platinblechen Gasblasen aufsteigen, welche man durch umgestülpte mit Wasser gefüllte Glocken auffangen kann. Ihre Untersuchung lehrt, dass am positiven Pol Sauerstoff, am negativen Pol Wasserstoff entwickelt wird, und beide in dem Verhältniss, in welchem sie im Wasser enthalten sind, nämlich zwei Volume Wasserstoff auf ein Volum Sauerstoff.

Während also der electrische Strom durch das Wasser hindurchgeht, zerlegt er dasselbe in seine Bestandtheile und diese treten im freien Zustande da auf, wo der Strom in das Wasser ein- oder aus demselben austritt.

Wie das Wasser verhalten sich auch andere zusammengesetzte Flüssigkeiten, welche den Strom leiten, wie Lösungen von Salzen und dergleichen. Leitet man den Strom durch eine Salzlösung, so scheidet sich die Basis am negativen, die Säure am positiven Pol aus. Bei den Lösungen der Metallsalze wird aber die Basis selbst ebenfalls zersetzt und es lagert

sich daher am negativen Pol das Metall ab, während der positive Pol, wenn er durch Säure angreifbar ist, aufgelöst wird. Leitet man den Strom durch Jodkalium, so wird Jod am positiven Pole ausgeschieden. Hat man daher das Jodkalium mit Stärkekleister angerieben, so entsteht am positiven Pole ein intensiv blauer Fleck, was man zur Erkennung schwacher Ströme und ihrer Richtung benutzen kann.

Um uns nun fernerhin verständlich zu machen, müssen wir hier die Namen angeben, welche Faraday in diesem Zweige der Electricitätslehre eingeführt hat, und deren wir uns fortan bedienen wollen. Die Körper, welche durch den Strom zersetzt werden, nennt man Electrolyte, die metallischen Enden des Leitungsdrahtes, durch welche der Strom in den Electrolyten ein- und aus demselben austritt, die Electroden (gleichsam Wege oder Thore der Electricität), und zwar heisst die Electrode, von welcher der Strom in den Electrolyten übertritt, die Anode, die andere dagegen die Kathode. Die Bestandtheile des Electrolyten nennt man Ionen, und zwar Anion denjenigen, welcher an der Anode, Kation denjenigen welcher an der Kathode auftritt.

Um sich nun eine Vorstellung von der Ursache der Electrolyse zu machen, muss man sich nach Grotthuss im Zusammenhang mit der electrochemischen Theorie von Berzelius denken, dass in einem zusammengesetzten Körper stets der eine Bestandtheil positiv, der andere negativ electrisch sei. Wird nun ein Strom durch den Electrolyten geleitet, so ist seine erste Wirkung die, dass er die Bestandtheile desselben so richtet, dass alle positiven nach der Kathode, alle negativen nach der Anode hinsehen. In Figur 7 stellt A die Anode,

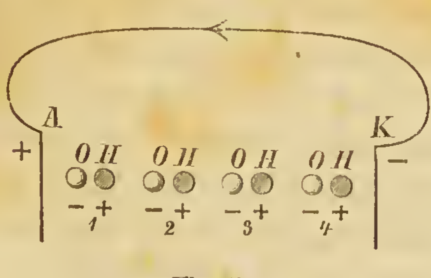


Fig. 7.

K die Kathode vor, der Pfeil deutet die Richtung des Stromes an. Von den Bestandtheilen des Electrolyten nun, als welcher hier Wasser gedacht ist, sind alle Sauerstofftheilchen negativ, alle Wasserstofftheilchen hingegen positiv electrisch. Der Strom richtet sie daher so, dass die Wasserstofftheilchen nach der Kathode, die Sauerstofftheilchen nach der Anode hinsehen. Nun zieht die Anode das negative Sauerstofftheilchen des Wassermoleküls 1 an und dieses wird frei. Das erste Wasserstofftheilchen reisst nun das zweite Sauerstofftheilchen an sich, das zweite Wasserstofftheilchen das dritte Sauerstofftheilchen und so fort, bis das letzte Wasserstofftheilchen endlich von der Kathode angezogen wird. Es ist also an der Anode ein Atom Sauerstoff und an der Kathode ein Atom Wasserstoff frei geworden, zugleich aber sind jetzt die positiven Wasserstoffmoleküle der Anode und die negativen Sauerstoffmoleküle der Kathode zugewandt. Diese Anordnung kann aber nicht bestehen, sondern die Theilchen drehen sich wieder so, dass alle Sauerstofftheilchen nach der Anode und alle Wasserstofftheilchen nach der Kathode hin gerichtet sind, worauf die nämliche Zerlegung und Wiedervereinigung beginnt, wie vorher, und so fort bis alles Wasser zersetzt ist.

§. 22. Aus je mehr Elementen die Kette zusammengesetzt ist, deren Strom man durch den Electrolyten sendet, um so lebhafter kann die Zersetzung sein. Sammelt man also die Zersetzungsproducte, so kann man aus der Menge derselben, welche in einer bestimmten Zeit entwickelt werden, einen Schluss auf die durch die Flüssigkeit gegangene Electricitätsmenge machen. Ein solcher Zersetzetzungsapparat führt den Namen Voltameter. Figur 8 stellt ein solches dar. Das Glas b ist luftdicht mit einem Deckel verschlossen, durch welchen zwei gut isolirte Drähte gehen, an deren jedem im Inneren des Glases eine Platinplatte angelöthet ist, und ausserdem das doppelt gebogene Rohr C. Das Glas wird mit Wasser gefüllt, welchem man, damit es besser leite, etwas

Schwefelsäure zusetzt. Leitet man einen Strom durch das angesäuerte Wasser, indem man die Drähte m und n mit den Polen der Kette verbindet, so wird das Wasser zersetzt, und das entwickelte Knallgas geht durch das Rohr C, und kann in einer Glocke aufgefangen und gemessen werden.

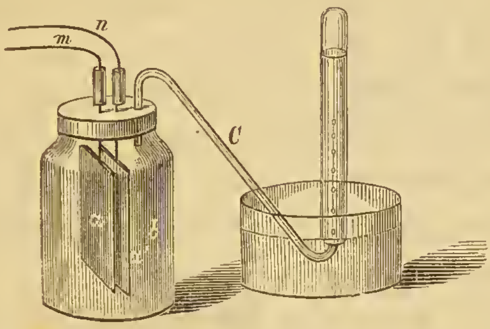


Fig. 8.

Eine andere Art von Voltameter beruht darauf, dass man den Strom mittelst Kupferplatten durch eine gesättigte Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd-leitet. Es lagert sich dann auf der die Kathode bildenden Platte metallisches [illegible] de durch [illegible] igkeit [illegible] node, [illegible] upfer [illegible] viel

[illegible] rein- [illegible] Kette [illegible] zer- [illegible] triols [illegible] mit [illegible] Atom [illegible] stoffes in [illegible] genau [illegible] in dem anderen ge[illegible] Dieses [illegible] setz der festen electrolytische[illegible] tion [illegible] n Untersuchungen Faraday's für alle anderen Verbindungen ebenfalls gültig. Nun ergiebt aber eine einfache Betrachtung, dass durch die verschiedenen Theile eines

und desselben Kreises stets gleiche Electricitätsmengen hindurchpassiren müssen, weil ja sonst an einzelnen Stellen eine Stauung oder Anhäufung freier Electricität stattfinden müsste, was doch nicht der Fall ist. Wir können daher jenes Gesetz auch so aussprechen: Gleiche Electricitätsmengen zersetzen, wenn sie durch einen Electrolyten gehen, eine gleiche Anzahl Atome desselben, oder was dasselbe ist, die zersetzten Mengen eines Electrolyten sind den durch denselben hindurchgegangenen Electricitätsmengen direct proportional.

Auf diese Weise sind wir also in den Stand gesetzt, mit Hülfe des Voltameters die Electricitätsmengen, welche eine Kette in einer bestimmten Zeit durch einen Schliessungsbogen sendet, genau zu messen. Wir können diese direct mit einander vergleichen, indem wir irgend eine beliebige Einheit festsetzen, und so wollen wir fortan die Einheit der Electricitätsmenge diejenige nennen, welche in einer Minute ein Cubikcentimeter Knallgas entwickelt.

§. 25. Wenn wir nun den Strom einer Kette durch das in Figur 8 abgebildete Voltameter leiten und von Zeit zu Zeit die Gasmengen bestimmen, welche in einer Minute entwickelt werden, so werden wir finden, dass diese immer geringer werden und zuletzt fast jede Gasentwickelung aufhört. Auch wird, wenn der Strom gleichzeitig durch einen Multiplicator geleitet wird, die Ablenkung der Magnetnadel immer geringer und zuletzt ganz Null werden. Es sind also die in gleichen Zeiten durch den Schliessungsbogen geschickten Electricitätsmengen immer kleiner geworden, je länger die Kette geschlossen blieb. Oeffnen wir jetzt die Kette und lassen sie längere Zeit offen stehen, so werden wir ganz denselben Vorgang erfolgen sehen, wenn sie wieder geschlossen wird, d. h. unmittelbar nach der Schliessung wird die entwickelte Gasmenge wieder bedeutend und die Ablenkung der Magnetnadel

wieder gross sein, und beide werden allmählich wieder abnehmen, wenn die Kette dauernd geschlossen bleibt.

§. 26. Welches ist die Ursache dieser Inconstanz der Kette? Sie kann in der Kette selbst, oder im Voltameter oder in beiden zugleich ihren Sitz haben. Prüfen wir zunächst das Voltameter. Wir lassen den Strom einige Zeit hindurchgehen und verbinden dann schnell die Drähte des Voltameters mit einem Multiplicator, und wir werden finden, dass die Nadel desselben abgelenkt wird und einen Strom anzeigt, welcher im Voltameter gerade die entgegengesetzte Richtung hat, als der ursprüngliche Strom der Kette. Da dieser Strom vor der Verbindung des Voltameters mit der Kette nicht vorhanden war, so muss er erst durch die Wirkung des Stromes hervorgerufen worden sein. Die Ursache kann nun füglich in nichts Anderem liegen, als in der electrolytischen Wirkung des Stromes. In Folge dieser ist nämlich die eine Platinplatte des Voltameters, welche als Anode gedient hat, mit Sauerstoff, die andere, welche als Kathode gedient hat, mit Wasserstoff bedeckt. Nun lässt sich aber nachweisen, dass eine Platinplatte mit Sauerstoff und eine Platinplatte mit Wasserstoff bedeckt sich gegen einander electromotorisch verhalten und zwar so, dass die mit Sauerstoff bedeckte zum negativen Metall wird, dass also der Strom in der Flüssigkeit von der mit Wasserstoff bedeckten zu der mit Sauerstoff bedeckten hin gerichtet ist. Es ist also gerechtfertigt, den im Voltameter auftretenden Strom auf diesen Umstand zu schieben, und es ist auch durch vielfache Versuche von verschiedenen Forschern bewiesen worden, dass die Gase wirklich die Ursache dieser Ströme sind.

Man nennt die solcher Gestalt durch die Wirkung des Stromes auftretenden Ströme secundäre oder Polarisationsströme, weil die Electroden des ursprünglichen oder primären Stromes durch diesen polarisirt, d. h. in den Stand

gesetzt sind, selbst die Pole einer Kette zu bilden. Da dieser secundäre Strom dem primären entgegengesetzt gerichtet ist, so muss er diesen natürlich schwächen. Die Bedingungen zur Polarisation sind aber in der Kette selbst ebensogut gegeben, als im Voltameter. Denn da die Flüssigkeit der Kette ebenfalls ein Electrolyt ist, so wird auch sie zersetzt und die Metalle der Kette werden polarisirt. In der That, wenn man die Kette ohne Voltameter nur durch den Multiplicator schliesst, sieht man die Ablenkung der Nadel ebenfalls, wenn auch etwas langsamer, abnehmen und zuletzt Null werden.

§. 27. Es entsteht also zunächst die Aufgabe, sich Ketten zu verschaffen, welche von diesem Fehler frei sind, welche ihre Wirkung lange Zeit hindurch in gleichem Maasse behalten. Diese Aufgabe löste zuerst Daniell. Später wurden noch andere constante Ketten construirt, von denen wir die wichtigsten hier beschreiben wollen.

In der Daniell'schen Kette sind Zink und Kupfer die erregenden Metalle. Um nun die Polarisation zu vermeiden, sind diese beiden Metalle in zwei verschiedene Flüssigkeiten gesetzt, deren Vermischung durch eine poröse Scheidewand verhindert wird, während die Leitung der Electricität durch sie nicht gehemmt wird.

Die Flüssigkeiten sind auf Seiten des Zinks verdünnte Schwefelsäure und auf Seiten des Kupfers eine gesättigte Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd. Da nun in dieser Combination der Strom in den Flüssigkeiten vom Zink zum Kupfer geht, so wird am Zink Sauerstoff frei, welcher das Zink oxydirt, das Zinkoxyd verbindet sich mit der Schwefelsäure und das so entstehende Zinksalz löst sich in der Flüssigkeit auf. Am Kupfer wird Wasserstoff abgeschieden und Kupferoxyd aus der Zersetzung des Kupfersalzes. Der Wasserstoff reducirt sogleich das Kupferoxyd, verbindet sich mit dem Sauerstoff desselben zu Wasser, und das metallische Kup-

fer lagert sich auf der Kupferplatte ab, welche so stets mit einer Schicht frischen Kupfers überzogen bleibt. Um die Kupfervitriollösung stets concentrirt zu erhalten, legt man in die Flüssigkeit einige Krystalle dieses Salzes oder, was besser ist, man hängt in dieselbe ein mit pulverisirtem Kupfervitriol gefülltes Florbeutelchen.

Fig. 9 zeigt die Anordnung einer Daniell'schen Kette, wie sie jetzt gebräuchlich ist, im Durchschnitte. Das Glas A enthält die Lösung des schwefelsauren Kupferoxyds und das cylinderförmig zusammengerollte Kupferblech K. Im Inneren des Glases steht ein unten geschlossener Cylinder von poröser Thonmasse, welcher mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist und den Zinkcylinder Z aufnimmt. Die an dem Kupfer und dem Zink angelötheten Drähte dienen zur Ableitung des Stromes.

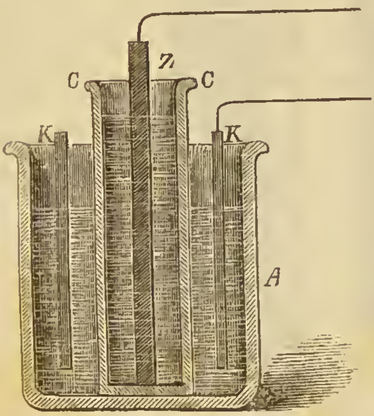


Fig. 9.

§. 28. Die constante Kette von Grove ist in Fig. 10 (auf folg. S.) abgebildet. In ihr sind Zink und Platin die erregenden Metalle, das Zink steht wiederum in verdünnter Schwefelsäure, das Platin in rauchender Salpetersäure. Die letztere ist im Thoncylinder enthalten, und dieser mit einem möglichst luftdicht schliessenden Deckel versehen, an welchem das Platinblech befestigt ist. Letzteres pflegt zur Vergrösserung der Oberfläche S-förmig gekrümmt zu sein, wie Fig. 11 (a. flg. S.) zeigt. Die Constanz der Kette kommt hier dadurch zu Stande, dass der galvanisch ausgeschiedene Wasserstoff die Salpetersäure zu salpetriger Säure reducirt, und sich mit dem Wasserstoff zu Wasser verbindet. Am Zink ist der Vorgang genau derselbe, wie bei der Daniell'schen Kette.

Die Bunsen'sche Kette unterscheidet sich von der Grove'schen nur dadurch, dass statt des Platins eine feste

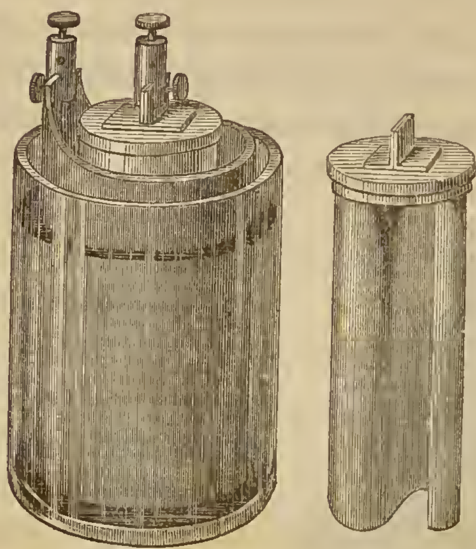


Fig. 10. *Fig. 11.*

Kohle angewandt wird, welche man aus der in den Gasretorten zurückbleibenden Coake bereitet.

In neuerer Zeit sind mehre Modificationen der genannten Ketten und andere Combinationen angegeben worden, deren Zweck hauptsächlich ist, das jedesmalige Auseinandernehmen der Ketten nach dem Gebrauch unnöthig zu machen. Dahin gehören z. B. die von Meidinger und die von Siemens und Halske angegebenen Modificationen der Daniell'schen Kette. In letzterer, welche für den medicinischen Gebrauch vielfach Anwendung gefunden hat, ist die Thonzelle durch eine dicke Scheidewand von vegetabilischem Pergament ersetzt, welche nur eine sehr langsame Diffusion gestattet, so dass ein Ueberwandern der Kupfervitriollösung zum Zink unmöglich ist. Man kann diese Kette viele Wochen gebrauchen, wenn man nur das verdunstende Wasser ersetzt und von Zeit zu Zeit neue Krystalle von Kupfervitriol zufügt.

Man hat auch versucht, constante Ketten ohne Scheidewände zu construiren. In der Grennet'schen Kette werden Zink und Kohle zusammen in eine Lösung von doppeltchromsauren Kali, welcher etwa ein Drittel Schwefelsäure zugefügt ist, getaucht. Die Kette ist jedoch nicht hinreichend constant, da der an der Kohle abgeschiedene Wasserstoff nicht schnell genug oxydirt wird. Deshalb ist vorgeschlagen worden, einen Luftstrom durch die Flüssigkeit zu blasen, welcher den ausgeschiedenen Wasserstoff mitreisst. In der That kann man dadurch die Kraft der Kette wesentlich erhöhen. Man macht von derselben vortheilhaften Gebrauch, wo man einer kräftigen Kette bedarf, ohne dass es einer absoluten Constanz bedarf. Die Zinkplatten sind an diesen Ketten so eingerichtet, dass sie aus der Flüssigkeit herausgezogen werden, wenn die Kette ausser Thätigkeit gesetzt werden soll.

Gleichfalls ohne alle Scheidewand ist die neuerdings fast gleichzeitig von Warren de la Rue und H. Müller und von Pincus angegebene Kette. Dieselbe ist in der Form, welche ihr die ersteren gegeben haben, in Fig. 12 abgebildet. Ein Zinkstab n und ein Silberdraht m bilden die beiden Metalle. Der Silberdraht ist von einem Cylinder geschmolzenen Chlorsilbers umgeben, und beide tauchen in verdünnte Schwefelsäure oder auch in eine Lösung von Kochsalz. Der Strom geht vom Zink zum Silber durch die Flüssigkeit und der am Silber ausgeschiedene Wasserstoff

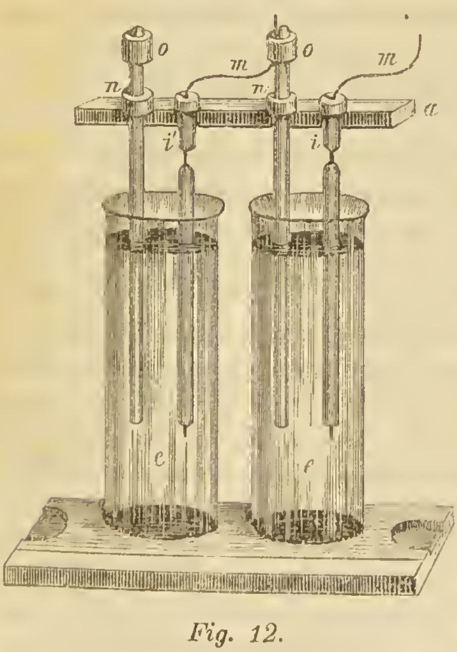


Fig. 12.

reducirt das Chlorsilber, es wird Silber abgeschieden und der Wasserstoff verbindet sich mit dem Chlor, wodurch die Polarisation aufgehoben wird. Die Figur zeigt, wie mehre Elemente zu einer zusammengesetzten Kette vereinigt werden, indem man den einen Silberdraht durch einen starken Kautschukring an den folgenden Zinkstab anklemmt. Um die Kette bequem in und ausser Thätigkeit setzen zu können, sind die Zink- und Silberdrähte an einem horizontalen Brette a befestigt, welches an einem Stative auf und nieder geschoben werden kann, während die Gläser mit der Schwefelsäure auf dem Grundbrette des Stativs stehen.

Ausser diesen sind noch eine Menge anderer Combinationen angegeben worden, welche mehr oder weniger vollkommen dem Zwecke entsprechen, die wir aber hier übergehen, da für wissenschaftliche sowohl als speciell für physiologische und practisch medicinische Zwecke die hier beschriebenen einfachen Combinationen immer die zweckmässigsten bleiben. Die Daniell'sche Kette hat vor den anderen besonders den Vorzug der Billigkeit und Bequemlichkeit. Die Grove'sche und Bunsen'sche Kette sind nicht nur theurer in der Anschaffung, sondern auch im Betriebe wegen des starken Verbrauches an Salpetersäure; sie sind ausserdem lästig durch die starke Entwickelung salpetrigsaurer Dämpfe, für deren Fortführung daher besondere Vorkehrungen getroffen werden müssen. Sie haben aber den Vorzug grösserer Stärke. Es ist nämlich die electromotorische Kraft der Grove'schen und Bunsen'schen Kette = 1,8 der Daniell'schen, also fast doppelt so gross. An einer späteren Stelle werden wir die Frage behandeln, in welchen Fällen die eine oder andere Combination den Vorzug verdient.

Das käufliche Zink ist stets stark mit anderen Metallen verunreinigt und an seiner Oberfläche niemals homogen. Dadurch bilden sich zwischen den einzelnen Theilchen des Zinkes, wenn es in die Säure eingetaucht wird, kleine galvanische Ketten, welche zu einer schnellen Zerstörung des Zinkes führen. Um dies zu verhindern, amalgamirt man das Zink, das heisst man überzieht es an seiner Oberfläche mit einer Schicht von Zinkamalgam, welche die Ungleichartigkeiten zudeckt und überdies noch bewirkt, dass das Zink eine noch grössere positive Spannung annimmt als in seinem gewöhnlichen Zustande. Das Amalgamiren geschieht am besten, indem man die Oberfläche durch verdünnte Schwefelsäure reinigt und dann eine Auflösung von Quecksilber in Königswasser mittelst einer Kratzbürste auf-

trägt.[1]) Nach dem Gebrauch der Daniell'schen Grove'schen oder Bunsen-schen Ketten muss man die Zinkkolben reinigen und trocknen, die Thoncylinder gut ausspülen und unter Wasser aufbewahren, welches öfters erneuert werden muss. Die Stärke der anzuwendenden Schwefelsäure ist am passendsten zwischen 5 bis höchstens 10 Gewichtsprocenten des ersten Schwefelsäurehydrates zu wählen. Eine sehr störende Erscheinung bei Daniell'schen Ketten ist die Zersetzung des in die Poren der Thonzellen eingedrungenen Kupfervitriols, wodurch mannichfache Uebelstände entstehen und zuletzt die Ketten gesprengt werden. Um es zu vermeiden, hat man darauf zu achten, dass die Zinkcylinder stets gut amalgamirt seien, dass sie nirgends die Wand der Thonzelle berühren, und dass der Boden der letzteren, wo die Berührung unvermeidlich ist, undurchgängig gemacht wird. Letzteres erreicht man nach F. Place am einfachsten, indem man den Boden mit geschmolzenem Wachs überzieht.

§. 29. Wie in der Kette selbst, so ist natürlich auch im Schliessungsbogen Veranlassung zur Polarisation gegeben, wenn derselbe nicht ganz und gar metallisch ist, sondern aus einer Abwechslung von Metallen und Electrolyten besteht. Dieser Fall ist aber bei der Anwendung der Electricität in der Physiologie die Regel. Soll man z. B. einen Strom durch einen Nerven leiten, so würde beim Anlegen zweier Drähte an den Nerven, da der Nerv aus electrolytischen Stubstanzen besteht, offenbar eine Ausscheidung der Anionen an dem einen, der Kationen an dem anderen Drahte eintreten. Hierdurch würden jene Drähte nicht nur polarisirt werden, sondern es könnten überdies noch die ausgeschiedenen Ionen irgend welche nicht beabsichtigte Einwirkungen auf den Nerven äussern. Darum ist es für genauere physiologische Versuche von der grössten Wichtigkeit, die Polarisation ganz zu vermeiden. Man erreicht dies durch Combinationen, welche geeignet sind, die ausgeschiedenen Ionen sogleich fortzuschaffen.

---

[1]) Man bereitet diese Auflösung indem man 4 Theile Quecksilber in 5 Theilen Salpetersäure und 15 Theilen Salzsäure unter gelindem Erwärmen auflöst und dann noch 20 Theile Salzsäure zusetzt.

Solche Combinationen bezeichnet man als unpolarisirbare Electroden.

Von allen den Combinationen, welche zu diesem Behuf empfohlen worden sind, erfüllt nur eine nach den sorgfältigen Untersuchungen du Bois-Reymond's ihren Zweck wirklich. Es ist die von J. Regnauld empfohlene, amalgamirtes Zink in einer Auflösung von schwefelsaurem Zinkoxyd. Setzt man zwei Platten von amalgamirtem Zink in Zinkvitriollösung, verbindet sie mit den Polen einer Kette, lässt den Strom einige Zeit hindurchgehen und verbindet dann durch eine geeignete Vorrichtung die Platten schnell mit den Enden eines empfindlichen Multiplicators, so erhält man keinen Ausschlag der Nadel, was bei Anwendung anderer Metalle und anderer Flüssigkeiten stets der Fall ist. Um nun mit Hülfe jener Combination einen Strom durch thierische Theile, zum Beispiel einen Nerven, zu leiten, bedient man sich der von du Bois-Reymond angegebenen Vorrichtung, welche in Fig. 13 (auf folg. S.) dargestellt ist. Zwei Glasröhrchen sind unten durch Stopfen von plastischem Thon geschlossen, denen man leicht jede für den besonderen Fall bequeme Form geben kann. Die so geschaffenen kleinen Gefässe füllt man mit concentrirter Lösung von reinem Zinkvitriol und taucht in dieselbe amalgamirte Zinkbleche. Letztere sind oben an einem Messingarme festgeklemmt, von welchem aus Drähte die Verbindung mit der Kette vermitteln. Den Thon rührt man mit einer einprocentigen Kochsalzlösung an, welche den Nerven nicht beschädigt. Er gestattet der Zinkvitriollösung so wenig den Durchtritt, dass man solche Electroden viele Stunden gebrauchen kann, ohne dass der Nerv darunter leidet. Die Glasröhrchen sind an einem Stative so befestigt, dass man ihnen leicht jede Lage geben kann, wie Figur 13 zeigt, wo nur die eine der beiden Electroden vollständig dargestellt ist. Damit man nöthigenfalls die Röhrchen

einander sehr nahe aneinander bringen kann, sind dieselben auf dem Querschnitt nicht rund, sondern plattgedrückt.

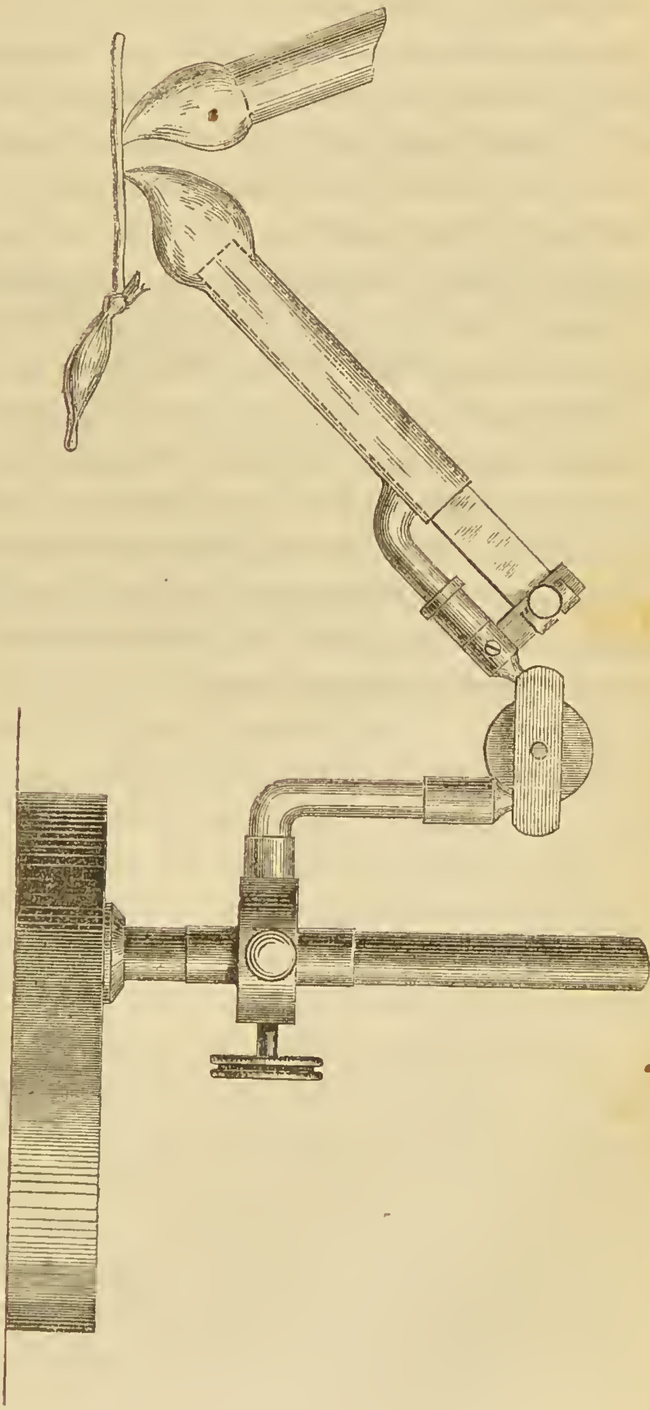


Fig. 13.

Wie du Bois-Reymond nachgewiesen hat, entsteht auch an der Berührungsstelle zweier ungleichartiger Electrolyte Polarisation. Diese lässt sich bei den Versuchen natürlich nicht ausschliessen. Sie ist aber im Vergleich zu der Polarisation, welche an metallischen Electroden auftritt, sehr schwach. Stärker schon ist die Polarisation, welche im Inneren poröser mit Electrolyten getränkter Leiter (zu welchen auch der Nerv gehört) auftritt. Um diese innere Polarisation zu verstehen, müssen wir uns den porösen Körper als ein Gerüst fester Theilchen vorstellen, zwischen denen ein verzweigtes Canalnetz frei bleibt, welches von dem flüssigen Leiter erfüllt wird. Der Strom geht nun einerseits durch das feste Gerüst, andererseits durch den flüssigen Leiter, endlich drittens abwechselnd von den festen Theilen zu den flüssigen und umgekehrt. Bei diesem Uebergange nun entsteht an den festen Theilchen Polarisation, welche zwar an und für sich schwach ist, aber durch die häufige Summation recht beträchtliche Werthe erreichen kann.

Capitel VI.

Von der Messung der Stromstärke, dem Ohm'schen Gesetz und dem Widerstande.

---

§. 30. Nachdem wir uns jetzt in den Besitz constanter Ketten gesetzt haben, sind wir im Stande, genauere Untersuchungen über die Wirkung der Ströme zu machen.

Die Wirkung einer Kette hängt offenbar, alles andere gleich gesetzt, ab von der Spannungsdifferenz, welche ihre Pole im ungeschlossenen Zustande haben, da diese Differenz die Ursache ist, welche die Bewegung der Electricitäten im Schliessungsbogen veranlasst. Diese Spannungsdifferenz hängt aber ab von der Art der die Kette zusammensetzenden Metalle und Flüssigkeiten, und der Anzahl der Elemente. Wir wollen sie die electromotorische Kraft der Kette nennen.

Schliessen wir nun die Kette durch irgend einen Schliessungsbogen, so werden die beiden Electricitäten sich durch diesen mit um so grösserer Geschwindigkeit bewegen, je grösser die electromotorische Kraft ist. Wir haben früher gesehen, dass die in einer bestimmten Zeit durch einen Querschnitt des Kreises strömende Electricitätsmenge an jeder Stelle des Kreises gleich sein muss, und da wir von unseren jetzigen Ketten voraussetzen, dass sie constant sind, das heisst, dass zu allen Zeiten die Geschwindigkeit der Electri-

citäten im Kreise die nämliche ist, so können wir bei Vergleichung verschiedener Ströme als Einheit diejenige Electritätsmenge zu Grunde legen, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Kreises fliesst. Wir wollen diese Electritätsmenge die Stärke oder die Intensität des Stromes nennen und fortan mit J bezeichnen. Diese Stromstärke muss also unseren obigen Bemerkungen gemäss der electromotorischen Kraft der Kette direct proportional sein:

$$J = K \,.\, E$$

wo E die electromotorische Kraft und K eine Constante bedeutet, deren Sinn uns gleich näher beschäftigen soll.

Um nun die Stromstärke zu messen, dazu können wir uns des Voltameters bedienen, da, wie wir gesehen haben, die in diesem ausgeschiedenen Knallgasmengen, den durchgegangenen Electricitätsmengen, also auch der Stromstärke direct proportinal sind. Zwar wird durch die im Voltameter auftretende Polarisation der ursprüngliche Strom geschwächt, allein diese Schwächung erreicht sehr bald einen constanten Werth und könnte daher in Rechnung gezogen werden. Auch können wir uns des Kupfervoltameters bedienen, wo die Polarisation sehr gering ist. Alle diese Instrumente haben aber den Nachtheil, dass sie den Werth der Stromstärke erst nach längerer Zeit angeben, und ausserdem werden die Wägungen der Kupferplatten, wenn sie oft gemacht werden sollen, sehr beschwerlich. Wir wollen uns daher nach einem bequemeren Maass für die Stromstärke umsehen. Als solches bietet sich uns die Ablenkung der Magnetnadel dar.

§. 31. Wird eine Magnetnadel durch die Wirkung eines Stromes aus dem magnetischen Meridian abgelenkt, so steht sie unter dem Einfluss zweier Kräfte, des Erdmagnetismus, der sie wieder in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt, und des Stromes, welcher sie senkrecht darauf zu stellen sucht. Sei nun in Fig. 14 NS die Richtung des magnetischen

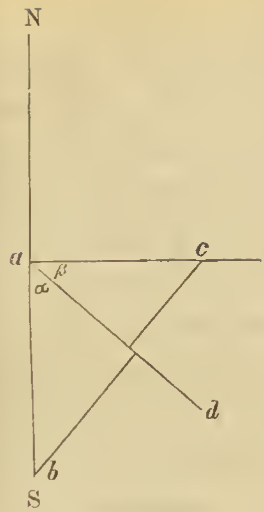


Fig. 14.

Meridians, a b die Grösse und Richtung der erdmagnetischen Kraft T, a c die Grösse und Richtung der auf den Meridian senkrechten Kraft des Stromes, desen Intensität = J ist, a d die Richtung, welche die Nadel unter dem vereinten Einfluss beider annimmt und α und β die Winkel, welche die Nadel mit den beiden Kräften macht, so sind, wenn man diese beiden Kräfte zerlegt, in solche, welche parallel und solche, die senkrecht zur Nadel stehen, die letzteren, welche allein zur Wirkung kommen beziehlich gleich $T \,.\, \sin\alpha$ und gleich $J \,.\, \sin\beta$.[1]) Da nun die Nadel im Gleichgewicht ist, so müssen diese beiden Kräfte gleich sein. Man hat also

$$T \,.\, \sin\alpha = J \,.\, \sin\beta$$

und da $\beta = R - \alpha$ also $\sin\beta = \cos\alpha$:

$$T \,.\, \sin\alpha = J \,.\, \cos\alpha$$

oder $$J = T \,.\, \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = T \,.\, \text{tang}\,\alpha$$

das heisst: die Intensität des Stromes ist gleich der Intensität des Erdmagnetismus mal der Tangente des Winkels, um welchen die Nadel aus dem Meridian abgelenkt wird. Man braucht jedoch die Intensität des Erdmagnetismus gar nicht zu kennen. Denn lässt man einen anderen Strom von der Intensität J_1 auf die Nadel wirken, und ist α_1 der Winkel, um welchen dieser Strom die Nadel ablenkt, so hat man $J_1 = T \,.\, \text{tang}\,\alpha_1$

[1]) Ausserdem kommen für die Ablenkung noch in Betracht die Constanten der Nadel (ihre Länge, magnetisches Moment u. s. w.). Da diese aber für ein gegebenes Instrument unveränderlich sind, ist auf sie keine Rücksicht bei der Rechnung genommen worden.

also $$J : J_1 = \text{tang}\,\alpha : \text{tang}\,\alpha_1$$

das heisst: die Stromstärken verhalten sich genau wie die Tangenten der Ablenkungswinkel. Man hat daher nur nöthig, in den Kreis des Stromes gleichzeitig ein Voltameter einzuschalten und die Kette so einzurichten, dass genau in einer Minute ein Cubiccentimeter Knallgas entwickelt wird. In diesem Falle strömt nach unserer oben gegebenen Definition in der Zeiteinheit die Einheit der Electricitätsmenge durch den Schliessungsbogen, die Intensität dieses Stromes wollen wir daher als die Einheit der Stromstärke annehmen. Ist also der Winkel, um welchen die Nadel von diesem Strom abgelenkt wird, gleich α_0, so verhält sich die Intensität irgend eines zu messenden Stromes J_x zur Intensität 1, wie die Tangente des Winkels, um welchen er die Nadel ablenkt, zur Tangente von α_0.

$$J_x : 1 = \text{tang}\,\alpha_x : \text{tang}\,\alpha_0$$

oder $$J_x = \frac{\text{tang}\,\alpha_x}{\text{tang}\,\alpha_0}$$

Diese Formel, wonach die Intensität des Stromes den Tangenten der Ablenkungswinkel direct proportional ist, behält jedoch nur so lange ihre Gültigkeit, als die Wirkung des Stromes durch die Ablenkung selbst sich nicht ändert. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Entfernung des Stromes von der Nadel sehr gross gegen die Länge der Nadel ist. Man giebt daher dem Instrumente, welches den Namen Tangentenbussole führt, die Einrichtung, welche

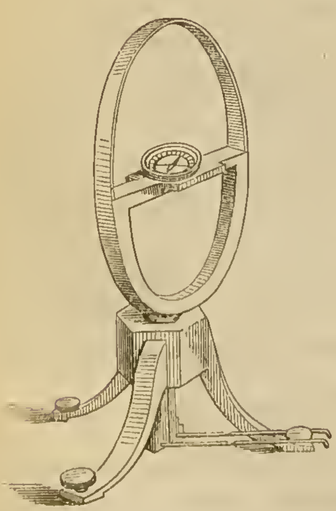


Fig 15.

Fig. 15 darstellt. Der Strom wird hier durch einen kreisför-

mig gebogenen Kupferstreifen geleitet, in dessen Mittelpunkt eine im Verhältniss zum Kreisdurchmesser kleine Magnetnadel angebracht ist, welche über einer Theilung spielt.

§. 32. So mit einem Mittel ausgerüstet, die Stromstärke schnell und mit Schärfe zu messen, wollen wir zu unserer Aufgabe zurückkehren, den Einfluss verschiedener Umstände auf dieselbe zu bestimmen. Wir schliessen zunächst die Kette direct durch die Tangentenbussole und schalten dann der Reihe nach noch verschiedene Leiter von verschiedener Gestalt und Substanz in den Schliessungsbogen ein. Das allgemeine Ergebniss dieser Versuche ist, dass die Stromstärke hierdurch stets vermindert wird. Wir schliessen daraus, dass die Leiter der Bewegung der Electricität in ihrer Substanz einen gewissen Widerstand entgegensetzen, in Folge dessen in einer bestimmten Zeit um so weniger Electricität durch den Querschnitt strömt, je grösser dieser Widerstand ist. Bezeichnen wir daher den Widerstand eines Kreises mit W, so wird die Stromstärke ausgedrückt werden durch die Formel

$$J = \frac{E}{W}$$

das heisst: die Stromstärke ist direct proportional der electromotorischen Kraft und umgekehrt proportional dem Widerstande der Kette. Dies wichtige Gesetz, welches die Grundlage der ganzen Theorie der electrischen Ströme ist, führt nach seinem Entdecker den Namen des Ohm'schen Gesetzes.

§. 33. Da alle Leiter ohne Unterschied dem electrischen Strom einen Widerstand bieten, so ist klar, dass der Ausdruck W in unserer Formel keine andere Bedeutung haben kann, als den der Summe aller Widerstände im Kreise der geschlossenen Kette. Denn nehmen wir an, wie es in der That der Fall ist, der Widerstand wäre nicht in allen Theilen des Kreises gleich, sondern in der Kette ein anderer

als in der Tangentenbussole, und in dieser wieder ein anderer als in den sonst noch in den Schliessungsbogen eingeschalteten Leitern, so wird doch der Widerstand eines jeden Theils je nach seiner Grösse verzögernd auf die Bewegung der Electricität in allen Theilen des Kreises einwirken, da in derselben Zeit die gleichen Electricitätsmengen in allen Theilen des Kreises sich bewegen müssen. Um daher den Einfluss richtig aufzufassen, welchen die Einschaltung von Leitern mit verschiedenen Widerständen auf die Stromstärke hat, muss man festhalten, dass ein Theil des Widerstandes, nämlich der der Kette und (in den hier besprochenen Versuchen) der Tagentenbussole, stets derselbe bleibt. Bezeichnen wir den unveränderlichen Widerstand mit W, dagegen den Widerstand irgend eines andern Leiters mit w, so haben wir also, wenn Kette und Bussole für sich zum Kreise geschlossen sind, für die Stromstärke den Ausdruck

$$J_0 = \frac{E}{W}$$

Wird dagegen der andere Leiter noch dazu eingeschaltet, so ist die Stromstärke

$$J_1 = \frac{E}{W + w}$$

Aus diesen beiden Gleichungen ergiebt sich:

$$W = \frac{E}{J_0} \text{ und } W + w = \frac{E}{J_1}$$

also

$$w = \frac{E}{J_1} - \frac{E}{J_0} = E\,\frac{J_0 - J_1}{J_0 \,.\, J_1}$$

Schalten wir jetzt einen anderen Leiter ein, dessen Widerstand wir $\mathfrak{w}$ nennen wollen, so ergiebt sich ganz auf dieselbe Weise, wenn J_2 die Intensität bei Einschaltung des neuen Leiters ist,

$$\mathfrak{w} = \frac{E}{J_2} - \frac{E}{J_0} = E\,.\,\frac{J_0 - J_2}{J_0 \,.\, J_2}$$

Es ist mithin

$$\frac{w}{\mathfrak{w}} = \frac{J_0 - J_1}{J_0 \cdot J_1} \cdot \frac{J_0 \cdot J_2}{J_0 - J_2} = \frac{J_0 - J_1}{J_0 - J_2} \cdot \frac{J_2}{J_1}$$

Man sieht hieraus, dass man durch drei Beobachtungen das Verhältniss der Widerstände zweier Leiter genau bestimmen kann. Nehmen wir nun den Widerstand eines bestimmten Leiters als Einheit an, so können wir die Widerstände aller anderen auf diesen reduciren und sie durch Zahlen ausdrücken. Als solche Einheit des Widerstandes wollen wir fortan den Widerstand einer Quecksilbersäule annehmen, welcher 1 Meter lang ist und 1 Millimeter Durchmesser hat.

Vergleichen wir nun mit dieser Widerstandseinheit die Widerstände verschiedener Leiter, so kommen wir zu dem Resultat, dass diese abhängen von der Gestalt und der Substanz der Leiter.

Was zunächst die Gestalt betrifft, so wollen wir uns der Einfachheit wegen denken, die Leiter hätten sämmtlich eine cylindrische oder prismatische Gestalt. Es zeigt sich dann, dass der Widerstand direct proportional ist der Länge und umgekehrt proportional dem Querschnitt des Leiters.

$$W = \frac{L}{Q}$$

wo L die Länge und Q den Querschnitt des Leiters bedeutet.

§. 34. Der Einfluss der Substanz lässt sich nicht in so allgemeinen Regeln ausdrücken. Im Allgemeinen kann man sagen, dass unter allen Substanzen die Metalle den geringsten Widerstand besitzen. Die Flüssigkeiten bieten bei gleichen Dimensionen einen vielmals grösseren Widerstand. Vergleicht man Leiter von denselben Dimensionen, aber von verschiedener Substanz mit einander, so bekommt man Zahlen, welche den specifischen Widerstand der Substanz ausdrücken, wobei man wiederum den Widerstand einer bestimm-

ten Substanz, etwa des Quecksilbers, zu Grunde legt. Je grösser der specifische Widerstand einer Substanz ist, desto schlechter leitet sie die Electricität, desto geringer ist ihr Leitungsvermögen. Das Leitungsvermögen ist also stets der reciproke Werth des Widerstandes.

§. 35. Die folgende Tabelle enthält numerische Angaben über das specifische Leitungsvermögen der wichtigsten Metalle in runden Zahlen, wobei das Leitungsvermögen des reinen Quecksilbers = 1 angesetzt ist.

Quecksilber . . .	1
Neusilber	4
Platin	5
Eisen	7,5
Messing	12,5
Zink	13,5
Gold	27,5
Kupfer	40
Silber	50

Diese Zahlen zeigen, wie gross die Unterschiede bei den Metallen sind. Das Quecksilber leitet 50 mal schlechter (hat einen 50 mal grösseren Widerstand) als das Silber, das heisst wenn man in den Kreis einer Kette eine Tangentenbussole und einen Silberdraht von bestimmten Dimensionen zum Beispiel von 100 Meter Länge und 1 □mm Querschnitt aufnimmt, und die Magnetnadel wird um einen Winkel α abgelenkt, ersetzt dann den Silberdraht durch eine Quecksilbersäule von ebenfalls 1 □mm Querschnitt, so darf diese Säule nur 2 Meter lang sein, damit die Magnetnadel wieder um den Winkel α abgelenkt werde.

Die oben mitgetheilten Zahlenangaben haben nur einen ganz annähernden Werth, da das Leitungsvermögen der Metalle durch geringe Verunreinigungen, ja selbst bei völliger chemischer Reinheit durch geringe Schwankungen in der Härte, Spannung und Dichtigkeit schon bedeutend

geändert wird. Dieser Umstand ist sehr störend für die Vergleiehung von Widerständen zu versehiedenen Zeiten und an versehiedenen Orten. In neuerer Zeit hat Siemens zu diesem Behufe das Queeksilber empfohlen, da dieses noch am leichtesten sehnell in einem genügenden Grade der Reinheit hergestellt werden kann. Siemens empfiehlt daher als Einheit des Widerstandes den Widerstand einer Queeksilbersäule von 1□mm Querschnitt und 1 Meter Länge. Wir wollen diese Einheit fernerhin gleiehfalls zu Grunde legen und mit den Buehstaben S. E. (Siemens'sehe Einheit) bezeiehnen. Für sehr grosse Widerstände benutzt man aueh zuweilen die Meile Telegraphendraht als Einheit. Der Widerstand einer Meile preussischen Telegraphendrahtes ist gleieh 64 Siemens'schen Einheiten, d. h. gleieh dem Widerstand von 64 Meter reinen Queeksilbers von 1 □mm Quersehnitt.

§. 36. Der Widerstand der Flüssigkeiten ist sehr viel mal grösser als der der Metalle. Setzt man das Leitungsvermögen des Quecksilbers gleich 1,000,000, so sind die Leitungsvermögen von:

Coneentrirte Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd	2,75
Concentrirte Koehsalzlösung	15,75
Coneentrirte Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd .	2,9
Käufliehe Salpetersäure	47,9
220 Ccm. Wasser mit 20 Ccm. Schwefelsäurehydrat .	44,35

Wie man sieht, ist der Widerstand der Salpetersäure, welche am besten leitet, immer noch mehr als 200000 mal grösser als der des Quecksilbers. Interessant ist, dass ein Gemenge von Schwefelsäure und Wasser bei einem gewissen Verhältniss der Misehung ein Minimum des Widerstandes hat. Es ist nämlich, wenn man den Widerstand des Quecksilbers gleich 1 setzt, der Widerstand nach Paalzow bei

$$HSO_4 \; . \; . \; . \; . = 96950$$
$$HSO_4 + 14\,H_2O = 14157$$
$$HSO_4 + 13\,H_2O = 13310$$
$$HSO_4 + 489\,H_2O = 184773$$

Ganz ähnliehe Verhältnisse zeigen sich bei der Lösung einiger Salze, z. B. des schwefelsauren Zinkoxydes. Die reine Schwefel-

säure und das reine Wasser leiten ausserordentlich schlecht. Bei 10% Schwefelsäure leitet das Gemenge noch einmal so schlecht als bei 45%. Dennoch ist es nicht gerathen, bei den galvanischen Elementen eine stärkere Concentration als 10% anzuwenden, da sonst das Zink zu sehr angegriffen wird.

Bei physiologischen Versuchen kommt es häufig vor, dass man sehr grosse Widerstände in den Kreis der Kette einschalten muss. Man bedient sich dann mit Vortheil der flüssigen Leiter, welche man in Röhren eingeschlossen auf passende Weise in den Kreis bringt. Je nach der Grösse des gebrauchten Widerstandes nimmt man dazu Salzlösungen oder verdünnte Schwefelsäure oder destillirtes Wasser, welchem man, wenn es noch schlechter leiten soll, Alkohol zusetzt. In allen diesen Fällen ist jedoch auf die Polarisation Rücksicht zu nehmen. Um sie zu vermeiden, wird man Lösungen von Zinkvitriol anwenden, und die Zu- und Ableitung durch amalgamirtes Zink bewirken müssen. Wegen der Wichtigkeit dieser Flüssigkeit für physiologische Versuche sollen daher noch die Bestimmungen von Beetz hier Platz finden. Nach diesem ist bei 14°, 4 C. die Leitungsfähigkeit von Zinkvitriollösung, die des Quecksilbers gleich 1 gesetzt, bei einem Gehalt von

49,7 grm. $ZnSO_4$ auf 100 grm. Wasser = 0,000003133
24,3 „ „ „ „ „ „ = 0,000003905
14,0 „ „ „ „ „ „ = 0,000003047;

auch hier zeigt sich die beste Leitung bei dem mittleren Salzgehalt.

§. 37. Um verschiedene Widerstände mit einander zu vergleichen und je nach Bedürfniss mehr oder minder grosse Widerstände in den Kreis einschalten zu können, hat man verschiedene Apparate angegeben, welche den Namen Rheostaten führen. Der Rheostat von Wheatstone besteht aus zwei dicht nebeneinander liegenden Cylindern von ganz gleichen Dimensionen, welche mittelst einer Kurbel gleichzeitig in gleicher Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit gedreht werden können. Der eine, dieser Cylinder ist aus hartem Holz, Serpenthin oder sonst einer gut isolirenden Masse gefertigt und mit einem feinen Schraubengang versehen, der andere ist von Messing. Ein langer feiner Platin- oder Neusilberdraht ist an dem einen Ende des isolirenden Cylinders, an einem dort befestigten Messingring festgeschraubt, auf welchem eine Feder

schleift, das andere Ende ist, nachdem man den Draht durch Drehung des Cylinders fest in die Schraubengänge eingelegt hat, an dem Messingcylinder befestigt, auf welchem ebenfalls eine Feder schleift. Verbindet man die beiden Federn mit den Polen der Kette, so muss der Strom durch die ganze Länge des feinen Drahtes gehen, um dann in den Messingcylinder und von diesem zur Kette zurück zu kehren. Dreht man aber jetzt die beiden Cylinder, so wickelt sich ein Theil des Drahtes von dem Holzcylinder ab und auf dem Messingcylinder auf. Es wird also jetzt der Strom schon nach Durchlaufung einer geringeren Drahtlänge zu dem Messingcylinder und von diesem weiter gehen, wird also einen geringeren Widerstand zu überwinden haben.

Handelt es sich nur um kleine Widerstände, welche aber genauer abgestuft werden sollen, so kann man sich des in

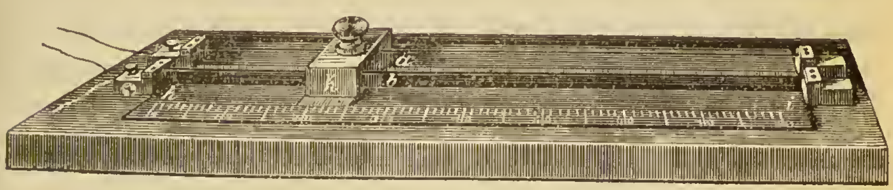


Fig. 16.

Fig. 16 abgebildeten Apparates bedienen, welcher den Namen Rheochord führt, weil hier die den Strom leitenden Drähte wie Saiten ausgespannt sind. Die beiden gerad ausgespannten Drähte a und b sind an ihren Enden in Messingklötzen festgeschraubt und durchbohren den Messingklotz K, welcher sich selbst parallel auf der Unterlage hin und her geschoben werden kann. Auf der Theilung h i kann man ablesen, wie lang die in den Kreis eingeschalteten Drahttheile sind.

Um sehr grosse Widerstände in einen Kreis einzuschalten, bedient man sich mit Vortheil übersponnener Neusilberdrähte von grosser Länge und sehr geringem Durchmesser,

welche man auf Rollen aufwickelt. Man stellt meist mehre solcher Rollen in einem Kasten auf und richtet sie so ein, dass man auf bequeme Weise den Strom durch eine oder mehre dieser Rollen leiten kann, deren Widerstand in passender Weise abgestuft ist. In dieser Weise sind die Rheostaten eingerichtet, welche Siemens und Halske in ihrer Anstalt fertigen lassen, und welche in den physiologischen Laboratorien vielfach Anwendung finden. Die zu Grunde gelegte Einheit ist die von Siemens eingeführte, bei älteren Apparaten der Art die Telegraphenmeile. Sie umfassen meist einen Widerstand von 1 bis zu 10000 Siemens'schen Einheiten.

Der Widerstand der Metalle sowohl, als der übrigen Leiter ändert sich mit der Temperatur; aber während der Widerstand der Metalle mit Temperaturerhöhung zunimmt, wird das Leitungsvermögen der Electrolyte durch Temperaturerhöhung verbessert. Auf diese Aenderung ist bei Widerstandsmessungen Rücksicht zu nehmen, besonders da die Temperatur der Metalldrähte, welche den Strom leiten, durch diesen selbst erhöht wird. Von der Verbesserung des Leitungsvermögens der Electrolyte durch Temperaturerhöhung macht man mit Vortheil Gebrauch in physiologischen und electrotherapeutischen Fällen, indem man die Epidermis, um ihren Widerstand zu verkleinern, mit warmen Salzlösungen durchtränkt. Hiervon wird an einer späteren Stelle mehr die Rede sein.

§. 38. Bei dem ungeheuren Unterschied in der Leitungsfähigkeit der Metalle, und der Electrolyte ist schon von vornherein anzunehmen, dass der Widerstand der galvanischen Ketten nicht gering sein kann, da sie ja flüssige Leiter enthalten. Dies ist auch in der That so, und der Widerstand der Ketten darf nicht ausser Acht gelassen werden, wenn man die Wirksamkeit der Elemente bestimmen will. Der Widerstand einer

Kette hängt ab von der Natur der sie zusammensetzenden Flüssigkeiten und ihren Dimensionen. So hat z. B. ein Grove'sehes Element nur etwa die Hälfte des Widerstandes von einem Daniell'schen gleieher Grösse, weil die Salpetersäure so sehr viel besser leitet, als die Lösung des schwefelsauren Kupferoxyds. Will man nun die Wirksamkeit einer Kette richtig beurtheilen, so muss man unterscheiden zwisehen dem Widerstande der Kette selbst und dem Widerstande des Schliessungsbogens. Da der erstere bei einer gegebenen Kette unveränderlieh ist, so nennt man ihn den wesentlichen Widerstand, den Widerstand des Sehliessungsbogens aber, welcher naeh Belieben vergrössert oder verkleinert werden kann, den ausserwesentlichen. Ist der ausserwesentliche Widerstand sehr klein im Verhältniss zum wesentlichen, ein Verhältniss, welches z. B. eintritt, wenn der Schliessungsbogen nur aus kurzen dicken Drähten und der Tangentenbussole besteht, so wird die Stromstärke fast nur von dem Widerstand und der electromotorischen Kraft der Kette abhängen. Nennen wir den Widerstand eines Daniell'sehen Elementes W, den des Sehliessungsbogens w, die electromotorische Kraft des Elementes E, so ist die Stromstärke

$$J = \frac{E}{W + w}$$

wo nach unserer Annahme w sehr klein im Verhältniss zu W ist. Nehmen wir nun statt des einen Elementes eine zusammengesetzte Kette von 2 Elementen, so wird diese Kette die doppelte electromotorische Kraft, aber auch den doppelten Widerstand haben. Die Stromstärke wird also sein

$$J_1 = \frac{2E}{2W + w}$$

Nun können wir aber, ohne einen merkliehen Fehler zu begehen, setzen

$$2W + w = 2(W + w)$$

Also auch

$$J_1 = \frac{2\,E}{2\,(W + w)} = \frac{E}{W + w}$$

mithin ist

$$J_1 = J$$

d. h. also die Stromstärke ist bei Anwendung zweier Elemente nicht merklich grösser, als bei Anwendung eines einzigen, und dasselbe würde auch bei der Anwendung von 3 und mehr Elementen der Fall sein.

Nun wollen wir aber mit demselben Schliessungsbogen ein Element verbinden, in welchem der Zink- und der Kupfercylinder die doppelte Oberfläche haben. Hier wird die vom Zink durch die Flüssigkeiten zum Kupfer strömende Electricität offenbar nur den halben Widerstand zu überwinden haben, da der Querschnitt der Strombahn der doppelte ist. Die Stromstärke muss also sein

$$J_2 = \frac{E}{\frac{W}{2} + w}$$

wofür wir, da w sehr klein ist, also $\frac{W}{2} + w$ sich äusserst wenig unterscheidet von $\frac{W + w}{2}$, setzen können

$$J_2 = 2 \cdot \frac{E}{W + w} = 2\,J$$

d. h. durch Verdoppelung der Grösse des Elementes wird die Stromstärke verdoppelt.

Ganz das Gegentheil findet statt, wenn wir annehmen, es sei im Schliessungsbogen ein so beträchtlicher Widerstand eingeschaltet, dass der Widerstand der Kette dagegen als sehr klein angesehen werden kann. Wir haben dann bei Anwendung eines Elementes

$$J = \frac{E}{W + w}$$

Bei Anwendung zweier Elemente

$$J_1 = \frac{2E}{2W + w}$$

und da W sehr klein ist gegen w, so können wir dafür setzen

$$J_1 = \frac{2E}{W + w} = 2J$$

d. h. die Stromstärke ist durch Hinzufügen des zweiten Elementes auf das doppelte gestiegen. Dagegen würde es in diesem Falle gar nichts nützen, wenn wir ein grösseres Element anwendeten. Denn bei Anwendung des Elementes von doppeltem Querschnitt wäre wieder

$$J_2 = \frac{E}{\frac{W}{2} + w}$$

was, da W sehr klein gegen w, fast gar nicht von dem Werth

$$J = \frac{E}{W + w}$$

unterschieden wäre.

Aus diesen Betrachtungen folgt die für die practische Anwendung wichtige Regel: Ist der ausserwesentliche Widerstand sehr klein, so hat man sich weniger aber möglichst grosser Elemente zu bedienen, ist der ausserwesentliche Widerstand aber gross, so hat man mehr Elemente zu nehmen, welche dann von geringeren Dimensionen sein können.

§. 39. Da Elemente von sehr grossen Dimensionen unbequem wären, so kann man eine Anzahl kleinerer Elemente dadurch zu einem von grösserem Querschnitt, also geringerem Widerstand combiniren, dass man alle positiven und alle negativen Pole in je einen Draht zusammenlaufen lässt, und zwischen diesen dann den Schliessungsbogen einschaltet. Man bezeichnet dies als Verbindung von Elementen neben einander, zum Unterschied von der Verbindung hinter

einander, wo der positive Pol des ersten, mit dem negativen Pol des zweiten u. s. f. verbunden werden. Je nach dem Widerstand des Schliessungsbogens wird man zu beurtheilen haben, wie viele Elemente man zu einem zusammenkuppelt. Hat man z. B. vier Daniell'sche Elemente zur Verfügung, deren jedes die electromotorische Kraft E und den Widerstand W hat, so sind folgende Combinationen möglich:

1) Man verbindet sämmtliche Kupfercylinder unter sich, und ebenso sämmtliche Zinkcylinder: man hat dann vier Elemente neben einander oder ein Element mit der electromotorischen Kraft E und dem Widerstand $^1/_4$ W.

2) Man verbindet je zwei Kupfer- und je zwei Zinkcylinder unter sich, und dann das erste Kupferpaar mit dem zweiten Zinkpaar: man hat eine Kette von zwei Elementen hintereinander, von denen jedes aus zwei nebeneinander verbundenen besteht; die electromotorische Kraft ist $= 2E$, der Widerstand $= {}^1/_2 W + {}^1/_2 W = W$.

3) Man verbindet alle vier Elemente hinter einander; die electromotorische Kraft ist $= 4E$, der Widerstand $= 4W$.

Sind noch mehr Elemente gegeben, so sind die möglichen Combinationen natürlich noch mannichfaltiger.

Nach denselben Principien hat man auch zu beurtheilen, welche Ketten am zweckmässigsten zu verwenden sind. Ist der ausserwesentliche Widerstand sehr klein, so geben die Grove'schen Elemente stets stärkere Ströme, da sie sowohl grössere electromotorische Kraft als auch geringeren Widerstand haben als die Daniell'schen. Ist aber der ausserwesentliche Widerstand sehr gross, so werden zwei Daniell's etwa dasselbe leisten, wie ein Grove von denselben Dimensionen, da die electromotorische Kraft eines Grove etwa die

doppelte ist, wie die eines Daniell, und es auf den Widerstand der Kette dann gar nicht ankommt. Dieser Fall ist bei der physiologischen und therapeutischen Anwendung der Ketten der häufigste, da die thierischen Gewebe so beträchtliche Widerstände bieten. Hier wendet man daher meist Daniell'sche Elemente an, welche in der Anschaffung und im Betriebe billiger sind, und nicht die so sehr lästigen Dämpfe aushauchen. Die oben besprochene von Siemens und Halske angegebene Modification der Daniell'schen Kette hat gleichfalls einen sehr grossen Widerstand, ebenso die Zink-Silberkette von Warren de la Rue. Alle diese sind daher für die electrotherapeutische und die physiologische Anwendung brauchbar. Dagegen ist der Widerstand der Grennet'schen Kette ein sehr geringer und sie steht daher in einer Linie mit der Grove'schen oder Bunsen'schen Kette, d. h. ihre Anwendung wird nur dort vortheilhaft sein, wo der Widerstand im Schliessungsbogen ein geringer ist. Braucht man aber sehr starke Ströme, so würde eine sehr grosse Anzahl Daniell'scher Elemente nöthig sein, deren Handhabung sehr unbequem wäre. Man bedient sich dann mit Vortheil Grove'scher Elemente, welche aber, wenn es auf den Widerstand nicht ankommt, sehr klein sein können. Nach dem Vorgange du Bois-Reymond's sind jetzt für diese Zwecke meist eine ganz kleine Art Grove'scher Elemente in Gebrauch, deren Kosten eben ihrer Kleinheit wegen nur gering sind.

Dieselben Beziehungen, wie zwischen dem wesentlichen und ausserwesentlichen Widerstand haben auch Geltung zwischen den einzelnen Theilen des Schliessungsbogens selbst. Ist der Gesammtwiderstand des Schliessungsbogens sehr gross und ein einzelner, verhältnissmässig geringer Theil desselben ändert seinen Widerstand, so wird dies auf die Stromstärke nur von geringem Einfluss sein. Man kann daher, wenn thierische Theile im Schliessungsbogen enthalten sind, von dem

Widerstande der metallischen Drähte, welche zur Zu- und Ableitung dienen, meist ganz absehen, und es ist für den Effect ganz gleichgültig, ob man sich dazu dicker oder dünner Drähte bedient und von welchem Metall sie sind. Ganz anders aber, wenn der ganze Schliessungsbogen überhaupt nur einen geringen Widerstand hat. In diesem Falle ist die Aenderung eines Theiles schon von grossem Einfluss. Man hat daher auf die richtige Wahl jedes Theiles sorgfältige Aufmerksamkeit zu richten. Da Silber zu theuer wäre, bedient man sich meist kupferner Drähte, die man in verschiedenen Dicken, je nach dem Zwecke, verwendet. Die Verbindung einzelner Drähte unter einander bewerkstelligt man durch sogenannte Klemmschrauben, welche von Kupfer, oder da es bei diesen kurzen dicken Verbindungsstücken nicht so sehr auf das Leitungsvermögen ankommt, aus dem dauerhafteren Messing gefertigt werden. Zwei sehr gebräuchliche Formen solcher Klemmen sind in Fig. 17 u. 18 dargestellt. Aus der Fig. 18 ist ohne Weiteres ersichtlich wie die Verbindung der Drähte geschieht. Fig. 17 stellt eine Klemme dar, welche zur Verbindung eines Drahtes mit einem Bleche dient. Letzteres wird in den Schlitz eingeschoben und durch die Schraube festgeklemmt.

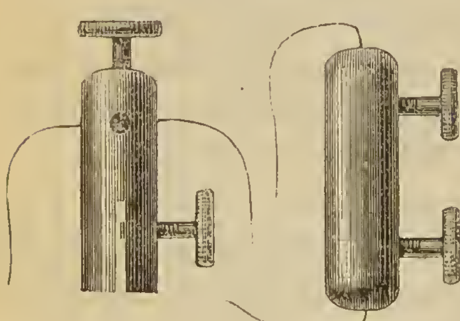


Fig. 17. *Fig. 18.*

Zur Verbindung dünner Drähte ist die in Fig. 19 dargestellte Klemme zu empfehlen, da die Schrauben der oben dargestellten Klemmen solche dünne Drähte leicht durchkneifen.



Fig. 19.

§. 40. Wir wollen hieran gleich die Beschreibung eines anderen

Hilfsapparates knüpfen, welcher bei physiologischen Versuchen sehr vielfache Anwendung findet, nämlich des Stromwenders oder Gyrotropen. Diese Vorrichtung hat den Zweck, in einer Leitung die Richtung des Stromes beliebig ändern zu können. Von allen Vorrichtungen dieser Art hat sich für physiologische Zwecke am meisten eingebürgert die in Fig. 20

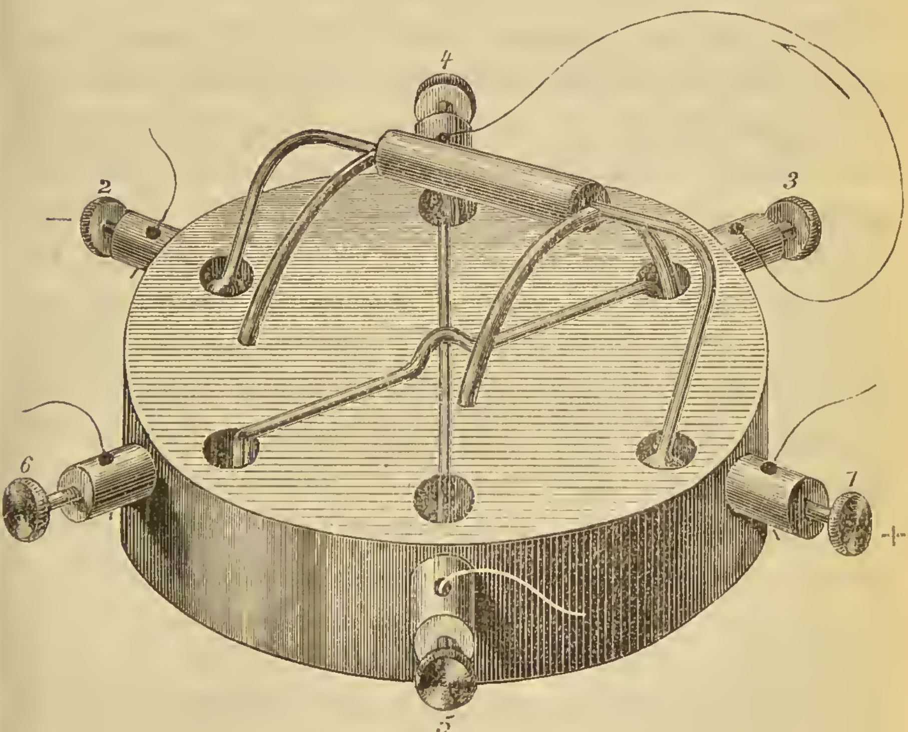


Fig. 20.

abgebildete Pohl'sche Wippe. Sie besteht aus einem Klotz von Mahagoniholz, in welchem 6 Löcher angebracht sind, die mit Quecksilber gefüllt werden. Die 6 Klemmen 1, 2 u. s. w. stehen mit diesem Quecksilber in leitender Verbindung. Die Verlängerung der Klemmen 1 und 2 innerhalb der Löcher bilden die Axe für die Wippe. Diese besteht aus zwei durch Glas und Siegellack vollkommen von einander isolirten Theilen, jeder dieser Theile aus einem dreigabligen

Stücke starken Kupferdrahtes. Bei der in unserer Figur dargestellten Lage der Wippe bilden diese Drähte eine leitende Verbindung zwischen den Klemmen 1 und 3 einerseits und 2 und 4 andererseits. Setzt man daher Klemme 1 mit dem positiven, Klemme 2 mit dem negativen Pol einer Kette in Verbindung, so geht der Strom durch einen zwischen 3 und 4 angebrachten Bogen in der Richtung des Pfeiles. Legt man die Wippe um, so verlassen die Kupferdrähte die Quecksilbernäpfe 3 und 4, und dafür entsteht eine Leitung zwischen 1 und 5 einerseits, 2 und 6 andererseits. Da zwischen 5 und 6 keine leitende Verbindung besteht, so kann der Strom nicht unmittelbar zwischen beiden übergehen. Nun ist aber 5 mit 4 und 6 mit 3 durch Kupferdrähte leitend verbunden. Da wo diese Verbindungen einander kreuzen, ist letztere der Isolirung wegen mit einer Krümmung über erstere weggeführt. Nun geht also der Strom von 1 über 5 nach 4, durchläuft den Verbindungsbogen nach 3 in umgekehrter Richtung des Pfeiles und kehrt von 3 über 6 nach 2 und zur Kette zurück.

Entfernt man die Kreuzverbindung zwischen 3 und 6, 4 und 5, und bringt noch eine Leitung zwischen 5 und 6 an, so kann man denselben Strom nach Belieben durch die Leitung zwischen 3 und 4 oder die zwischen 5 und 6 kreisen lassen. Umgekehrt, wenn man 3 und 4 mit einer, 5 und 6 mit einer anderen Kette verbindet und zwischen 1 und 2 eine Leitung anbringt, kann man durch diese nach Belieben den Strom der einen oder den der anderen Kette gehen lassen. Noch andere Modificationen der Anwendung, wenn nur eine der beiden gekreuzten Verbindungen entfernt wird u. d. g., lassen sich aus dem Anblicke der Figur leicht ableiten, weshalb wir sie hier übergehen.

Capitel VII.

Von der Stromdichte, den Zweigströmen und der Vertheilung des Stromes in nicht prismatischen Leitern.

---

§. 41. Es seien K_1 und K_2 zwei constante und ganz gleiche Ketten, L_1 und L_2 zwei Leiter aus derselben Substanz, jedoch sei L_2 noch ein Mal so dick und noch ein Mal so lang, als L_1. Dann ist der Widerstand beider Leiter genau gleich, und wenn wir die Kette K_1 durch den Leiter L_1 und die Kette K_2 durch den Leiter L_2 schliessen, so muss die Stromstärke in beiden ganz gleich sein:

$$J_1 = J_2.$$

Fassen wir nun einen Querschnitt des Leiters L_1 und einen Querschnitt des Leiters L_2 ins Auge, so strömen durch beide in gleichen Zeiten gleiche Electricitätsmengen. Aber diese Electricitätsmengen sind in L_2 auf einen doppelt so grossen Querschnitt vertheilt, als in L_1, durch die Flächeneinheit des Querschnitts fliesst also in L_2 noch ein Mal so viel Electricität als in derselben Zeit in L_2. Nennen wir nun diejenige Electricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch die Querschnittseinheit fliesst, die S t r o m d i c h t e, so folgt daraus, dass bei gleicher Stromstärke die Stromdichte umgekehrt proportional ist dem Querschnitt:

$$D = \frac{J}{Q}.$$

Der Begriff der Stromdichte ist für alle Wirkungen des Stromes, welche in dem Leiter selbst vorgehen, (und hierzu gehören alle physiologischen Wirkungen des Stromes) ungemein wichtig; denn es ist klar, dass es bei diesen Wirkungen nicht gleichgültig sein kann, ob eine und dieselbe Electricitätsmenge auf einen grösseren oder kleineren Querschnitt vertheilt ist. Im Gegentheil wird die Wirkung des Stromes natürlich um so beträchtlicher sein müssen, je geringer der Querschnitt ist, durch welchen eine bestimmte Electricitätsmenge fliesst, je grösser also die Stromdichte ist.

Um nun zu beurtheilen, welchen Einfluss die Veränderung des Querschnitts auf die Stromdichte hat, muss man besonders festhalten, was wir im vorigen Capitel über den relativen Widerstand eines Theiles des Kreises gesagt haben. Denken wir uns z. B. an einen Nerven einen Zink-Platinbogen angelegt; wir haben dann eine einfache Kette, in welcher der Nerv selbst den feuchten Leiter vorstellt und der Nerv wird von einem Strom in der Richtung vom Zink zum Platin durchflossen. Der Widerstand des Zinkplatinbogens kann im Vergleich zu dem Widerstand des Nervenstückes gleich Null gesetzt werden, der Widerstand des Nervenstückes ist aber gleich $\frac{L}{Q}$, wo L die Länge und Q den Querschnitt bedeutet. Es ist also die Stromstärke $J = \frac{E}{W} = \frac{E \cdot Q}{L}$ und die Stromdichte $D = \frac{J}{Q} = \frac{E}{L}$ Verschieben wir nun den Platinzinkbogen so, dass eine andere Stelle des Nerven im Kreise ist, deren Länge ebenfalls gleich L, deren Querschnitt aber gleich 2 Q ist, so haben wir

$$J_1 = \frac{2 \cdot E \cdot Q}{L} \text{ und } D = \frac{2 \cdot E \cdot Q}{2 \cdot L \cdot Q} = \frac{E}{L}$$

Die Stromdichte ist also in beiden Fällen ganz die nämliche, wie sehr auch die Querschnitte verschieden sein mögen.

Umgekehrt, wenn in den Kreis so grosse Widerstände eingeschaltet werden, dass der Widerstand des Nerven gegen sie als unendlich klein angesehen werden kann, dann bleibt die Stromstärke ungeändert, gleichviel, ob die dicke oder die dünne Stelle des Nerven im Kreise ist. Denn nennen wir den Widerstand der dünneren Nervenstrecke W, den der dickeren also $\frac{W}{2}$, den ausserdem eingeschalteten Widerstand aber w, so können wir ohne erheblichen Fehler setzen

$$W + w = \frac{W}{2} + w$$

weil nach unserer Voraussetzung der Widerstand W unendlich klein im Verhältniss zu w ist. Dann ist aber auch

$$J_1 = J$$

und folglich

$$D = \frac{J}{Q}, \; D_1 = \frac{J}{2\,Q}$$

In diesem Falle wäre also die Stromdichte stets umgekehrt proportional dem Querschnitt der im Kreise befindlichen Strecke.

§. 42. Bei unseren bisherigen Betrachtungen haben wir die Leiter immer von prismatischer oder cylindrischer Gestalt vorausgesetzt, d. h. so, dass ein senkrecht auf die Längsaxe gemachter Querschnitt überall dieselbe Gestalt hat. Man kann sich dann den ganzen Strom, der sich in einem solchen Leiter bewegt, bestehend denken aus einer Anzahl paralleler Stromesfäden, die gleichsam zu einem Bündel vereinigt, den ganzen Strom ausmachen. Je mehr solcher Fäden in einem Leiter von gegebenem Querschnitt zusammengedrängt sind, desto grösser ist die Sromdichte. Immer aber werden die Fäden gleichmässig über den ganzen Querschnitt vertheilt, die Dichte wird in allen Theilen eines und desselben Querschnitts

die nämliche sein müssen. Denken wir uns nun den Leiter der Länge nach in zwei gleich dicke Theile gespalten, so werden auf jeden dieser Theile die Hälfte der Stromfäden kommen, der Strom wird sich gleichmässig zwischen den beiden Hälften des Leiters theilen, und da beide Hälften ganz gleich sind, so wird die Stromstärke sowohl als die Stromdichte in den beiden Theilen ganz gleich sein.

Denken wir uns nun den Leiter in irgend einem anderen Verhältniss gespalten, so dass die Dicke des einen Theiles die des anderen um das n-fache übertrifft, so werden in dem ersteren auch n mal so viel Stromfäden liegen, als in dem zweiten, die S t r o m s t ä r k e wird also im ersteren die n-fache von der im zweiten sein, die S t r o m d i c h t e aber wird in beiden Theilen gleich sein.

Diese Betrachtung führt uns zu dem Problem der Stromvertheilung in verzweigten Leitungen. Sei, Fig. 21, ABFDC ein Kreis, in welchem bei A der Sitz der electromotorischen Kraft sein mag, welche einen Strom in der Richtung der Pfeile veranlasst, und sei dieser Kreis zwischen D und F in die beiden Zweige DEF und DGF gespalten. Nehmen wir zunächst an, die beiden Zweige wären einander genau gleich, so wird sich der Strom in die beiden Zweige ganz gleichmässig theilen.

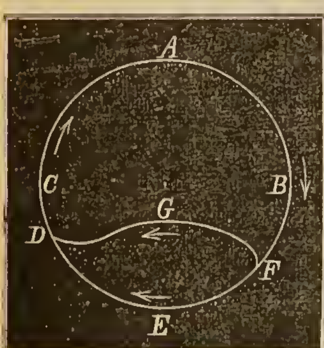


Fig. 21.

Haben die beiden Zweige aber ungleiche Widerstände, so können die Electricitätsmengen, welche durch die beiden Zweige in gleichen Zeiten strömen, nach den obigen Betrachtungen nicht mehr gleich sein.

Um nun zu untersuchen, in welcher Weise der Strom sich in die beiden Leitungen theilt, wollen wir annehmen, der Widerstand des Zweiges DEF sei gleich W und der des Zwei-

ges DGF sei gleich nW. Wir können dann, welches auch die Beschaffenheit der beiden Zweige sei, für den Zweig DEF einen anderen eingeführt denken von derselben Länge und demselben Material wie DGF, aber vom nfachen Querschnitt. Die oben angestellte Betrachtung zeigt dann, dass die Stromstärke im Zweige DEF nmal so gross sein muss, als die im Zweige DGF.

Diese Betrachtung behält aber auch ihre Gültigkeit, wenn der Kreis sich statt in zwei, in drei oder mehr Zweige spaltet. Wir können daher ganz allgemein den Satz aussprechen:

Wenn ein Kreis sich in eine Anzahl von Zweigen spaltet, welche sich alle wieder zu einer Leitung vereinigen, so verhalten sich die Stromstärken in den einzelnen Zweigen umgekehrt wie ihre Widerstände.

Kirchhoff (Poggend. Ann. Bd. 64. S. 497) hat für ein System von Drähten, welche auf ganz beliebige Weise mit einander verbunden und von galvanischen Strömen durchflossen sind, folgende Gleichungen abgeleitet, nach denen man die Stromstärke in jedem Zweige leicht berechnen kann:

1) Wenn die Drähte 1, 2, 3, ... μ in einem Punkte zusammenstossen, wenn ferner J_1, J_2, J_3 . . . . $J\mu$ die Intensität der Ströme bezeichnet, welche in den entsprechenden Drähten fliessen, wobei J als positiv angenommen wird, wenn der Strom nach dem Knotenpunkte hin, als negativ, wenn er von dem Punkte fort gerichtet ist, so ist stets:

$$J_1 + J_2 + J_3 + \dots + J\mu = 0$$

2) Wenn die Drähte 1, 2, 3, ... ν eine in sich geschlossene Figur bilden, und ΣE bedeutet die Summen aller electromotorischen Kräfte, welche sich auf dem Wege 1, 2, 3, ... ν, befinden, w_1, w_2, w_3, ... w_ν die Widerstände und J_1, J_2. J_3, ... J_ν die Intensitäten in den bezüglichen Drähten, so ist:

$$J_1 w_1 + J_2 w_2 + J_3 w_3 \dots + \dots + J_\nu w_\nu = \Sigma E.$$

Der erste Satz sagt nur aus, dass die dem Punkte von der einen Seite zugeführte Electricitätsmenge gleich sein muss der von ihm nach der anderen Seite hin in derselben Zeit abgegebenen, was sich von selbst versteht. Wegen des Beweises für den zweiten Satz müssen wir auf die Abhandlung

selbst verweisen. Wir wollen hier nur einige Folgerungen aus demselben ziehen, welche für uns von grossem Interesse sind.

Nennen wir in Figur 21 CAB 1, DGF 2 und DEF 3, so ist

$$J_1 w_1 + J_2 w_2 = E \quad (1)$$

$$J_1 w_1 + J_3 w_3 = E \quad (2)$$

$$-J_2 w_2 + J_3 w_3 = 0 \text{ [1]} \quad (3)$$

und für den Punkt D

$$-J_1 + J_2 + J_3 = 0 \quad (4)$$

Nach (2) ist $J_2 w_3 = E - J_1 w_1$

Nach (4) ist $J_1 = J_2 + J_3$

also ist $J_3 w_3 = E - J_2 w_1 - J_3 w_1$

oder $J_3 (w_1 + w_3) = E - J_2 w_1 \quad (5)$

Nach (3) ist $J_2 w_2 = J_3 w_3$

also $J_2 = \frac{J_3 w_3}{w_2}$

Dies in (5) eingesetzt giebt

$$J_3 w_1 + J_3 w_3 = E - \frac{J_2 w_3 w_1}{w_2}$$

oder $J_3 w_1 w_2 + J_3 w_2 w_3 + J_3 w_1 w_3 = E w_2$

oder $$J_3 = \frac{E \cdot w_2}{w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_1 w_3} \quad (6)$$

Ganz ebenso ergiebt sich:

$$J_2 = \frac{E \cdot w_3}{w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_1 w_3} \quad (7)$$

Und da nach (4) $J_1 = J_2 + J_3$, so ist

$$J_1 = \frac{E \cdot (w_2 + w_3)}{w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_1 w_3} \quad (8)$$

Die beiden Gleichungen (6) und (7) zeigen, dass sich die Stromstärken in den beiden Zweigen 2 und 3 umgekehrt verhalten, wie ihre Widerstände, denn es ist

$$J_2 : J_3 = w_3 : w_2$$

ein Resultat, welches wir schon aus unseren obigen allgemeinen Betrachtungen gezogen hatten.

Sei ferner in Figur 22 (auf folg. Seite) ABCD ein verzweigtes von Strömen durchflossenes System. Es heisse Ae 1, CB 2, AD 3, BD 4, und CED 5.

Es sei in diesem System selbst keine electromotorische Kraft vorhanden[2]),

---

[1]) J_2 muss negativ genommen werden, weil es in dem Umgange FEDGF die entgegengesetzte Richtung hat, wie J_3.

[2]) Diese muss also in dem zwischen A und B noch befindlichen Bogen irgendwo ihren Sitz haben.

und ferner wollen wir voraussetzen, dass $J_5 = 0$ ist, d. h. dass in dem Zweige CED kein Strom exisire. Man hat dann:

Für den Punct C: $J_1 - J_2 = 0$ (1)

Für den Punct D: $J_3 - J_4 = 0$ (2)

Für den Umgang ACED: $J_1 w_1 - J_3 w_2 = 0$ (3)

Für den Umgang BDEC: $J_2 w_2 - J_4 w_4 = 0$ (4)

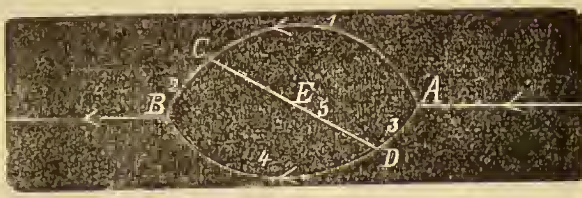


Fig. 22.

Aus der Division von (3) und (4) folgt:

$$\frac{J_1 w_1}{J_2 w_2} = \frac{J_3 w_3}{J_4 w_4} \quad (5)$$

Da nun nach (1) $J_1 = J_2$ und nach (2) $J_3 = J_4$, so ist

$$\frac{J_1 w_1}{J_1 w_2} = \frac{J_3 w_3}{J_3 w_4}$$

oder

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{w_3}{w_4}$$

d. h. wenn ein Strom sich in zwei Arme theilt, welche durch einen Zwischendraht verbunden sind, und in diesem Zwischendraht ist die Stromstärke Null, so verhalten sich die Widerstände der beiden Theile des einen Armes wie die Widerstände der beiden Theile des anderen Armes.

§. 43. Die Gesetze der Stromverzweigung finden ungemein häufige Anwendung in der Muskel- und Nervenphysiologie. Wir wollen daher gleich hier einige dieser Anwendungen besprechen.

Es ist eine sehr häufige Aufgabe, durch einen Muskel oder Nerven einen Strom von bestimmter Stärke zu senden, und diese Stärke schnell nach Belieben ändern zu können. Zu diesem Zweck bedient man sich des schon im §. 36 beschriebenen Rheochords (s. Figur auf folg. Seite), indem man den Strom sich zwischen Rheochord und Nerv theilen

lässt, oder wie man sich ausdrückt, das Rheochord als Nebenschliessung zum Nerven einschaltet. Verbindet

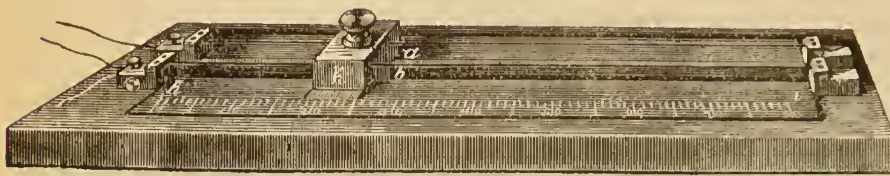


Fig. 23.

man nämlich die beiden Klemmen mit den Polen der Kette und führt ausserdem von denselben Klemmen je einen Leitungsdraht zum Nerven, so theilt sich der Strom; ein Zweig geht durch das Rheochord, ein anderer durch den Nerven. Die Stromstärke im Nerven hängt nun ab von dem Verhältniss des Widerstandes der eingeschalteten Saitenstücke des Rheochords zu dem Widerstande der den Nerven enthaltenden Leitung. Je näher also der Schieber K den Zuleitungsdrähten steht, desto schwächer ist der den Nerven durchfliessende Strom, und je weiter man den Schieber von jenem entfernt, desto stärker wird der Strom im Nerven. Steht der Schieber ganz dicht an den Klemmen, so ist der Widerstand in diesem Zweige (da der Schieber aus einem gut leitenden Metall besteht und einen beträchtlichen Querschnitt hat) gegen den Widerstand im Nervenkreise unendlich klein, es geht dann also so gut wie gar kein Strom durch den Nerven.

Um alle möglichen Abstufungen der Stromstärke erzielen zu können, muss das Rheochord so beschaffen sein, dass man auch über ziemlich beträchtliche Widerstände zu gebieten hat. Du Bois-Reymond hat zu diesem Zweck dem Apparat folgende Einrichtung gegeben (s. Figur 24 auf folg. Seite): Auf einem Brett sind zwei feine Platindrähte parallel ausgespannt, deren jeder etwas über 1 Meter lang ist. Unter diesen bewegt sich in einer passenden Bahn ein Schlitten von Mes-

sing, auf welchem parallel neben einander zwei hohle Stahlcylinder befestigt sind. Diese sind hinten offen, vorn jedoch

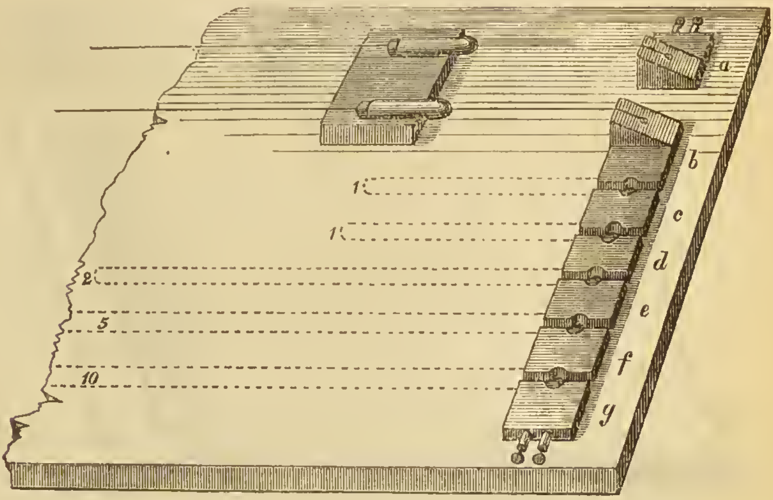


Fig. 24.

bis auf eine feine Oeffnung, deren Durchmesser den des Platindrahts nur wenig übertrifft, geschlossen. Die Platindrähte sind durch die Oeffnungen der Stahlcylinder gezogen, diese mit Quecksilber gefüllt und hinten mit Korken verschlossen, durch welche die Platindrähte ebenfalls durchgehen. Wegen der Unbenetzbarkeit des Platins und Stahls durch Quecksilber fliesst dieses aus dem capillaren Raum zwischen dem Platindraht und der Oeffnung des Stahlcylinders nicht aus.

Die Platindrähte gehen an dem vorderen Ende des Apparates über zwei Messingbacken a und b, welche sorgfältig von einander isolirt sind. Die eine dieser Backen, a, ist mit einer Doppelklemme zur Aufnahme zweier Leitungsdrähte versehen. Ausserdem sind auf dem Brette noch fünf Messingklötze, c, d, e, f, g, befestigt, jeder von seinem Nachbar durch einen kleinen Zwischenraum getrennt und isolirt. Die einander zugekehrten Seiten dieser Klötze sowie die eine Seite der Backe b sind mit Einschnitten versehen, die zusammen einen

cylindrischen Kanal zur Aufnahme von metallischen Stöpseln bilden, welche, wenn sie in den Kanälen stecken, eine metallische

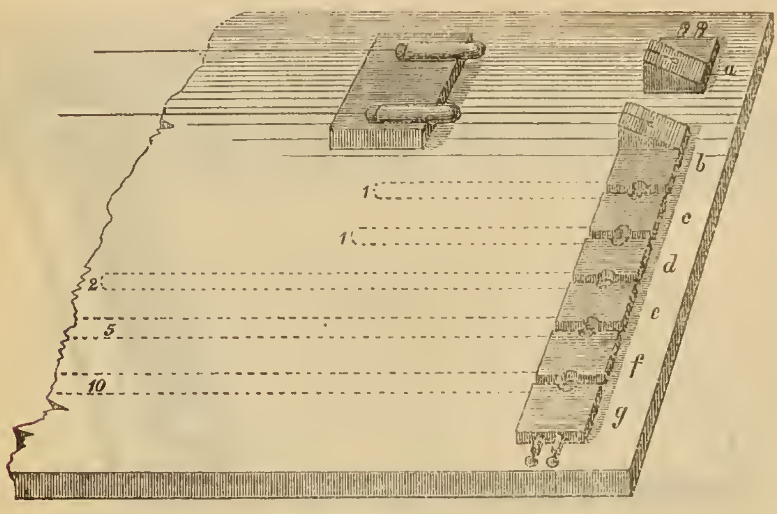


Fig. 25.

Verbindung zwischen je zwei benachbarten Metallklötzen herstellen. Der letzte Klotz g trägt wieder eine Doppelklemme.

Sind nun alle Stöpsel in die Kanäle gesteckt und steht der Schlitten ganz vorn, so dass die Stahlcylinder hart an den Backen a und b anliegen, so ist zwischen den Klötzen a und g eine Leitung von verschwindend kleinem Widerstand hergestellt. Werden daher die Klemmen dieser Klötze einerseits mit den Polen der Ketten, andererseits mit den Nerven verbunden, so geht so gut wie gar kein Strom durch den Nerven. Wird jedoch der Schlitten fortgeschoben, so wächst mit der Länge der eingeschalteten Platindrähte auch die Stärke des den Nerven durchfliessenden Stromes. Um nun noch grössere Widerstände einschalten zu können, als die beiden Platindrähte darbieten, ist folgende Einrichtung getroffen: In einem unterhalb der Platindrähte befindlichen Kasten sind 5 Drähte von Neusilber ausgespannt. Der erste ist mit seinem einen Ende an der Backe b, mit dem anderen an dem

Klotz c befestigt, der zweite an c und d, der dritte an d und e, und so fort. Ihre Länge ist so abgepasst, dass sie, den Widerstand der beiden Platindrähte zusammen als Einheit angenommen, der Reihe nach folgende Widerstände repräsentiren: 1, 1, 2, 5, 10. Zieht man einen Stöpsel zwischen zwei benachbarten Messingklötzen heraus, so muss der Strom durch den entsprechenden Neusilberdraht gehen, und man kann also nach Belieben den Widerstand des Rheochords verändern, indem man durch Combination der Neusilberdrähte bis zu 19 Einheiten und durch Verschieben des Schlittens beliebige Bruchtheile einschalten kann.

Soll das Rheochord vollständig seinen Zweck erfüllen, so muss bei Einschaltung seiner ganzen Länge die Strömstärke im Nerven so gross sein, als wäre gar kein Rheochord vorhanden, sondern als ginge der Strom der Kette ungetheilt durch den Nerven. Diese Forderung ist erfüllt, wenn der Widerstand der Kette als unendlich klein gegen den Widerstand der ganzen Rheochordlänge angesehen werden kann. Nennen wir den Widerstand der Kette sammt der Leitung bis zum Rheochord w_1, den Widerstand des Rheochords w_2 und den Widerstand der vom Rheochord abgezweigten Leitung, welche den Nerven enthält, w_3, so ist nach §. 41 Gleichung (6) die Stromstärke im Nerven, wenn wir noch mit E die electromotorische Kraft der Kette bezeichnen,

$$J_3 = \frac{E\,w_2}{w_1\,w_2 + w_2\,w_3 + w_1\,w_3} = \frac{E\,w_2}{w_1\,w_2 + (w_1 + w_2)\,w_3}$$

Ist nun unserer Voraussetzung gemäss w_1 unendlich klein gegen w_2, so geht dieser Ausdruck über in

$$J_3 = \frac{E\,w_2}{w_1\,w_2 + w_2\,w_3} = \frac{E\,w_2}{w_2\,(w_1 + w_3)} = \frac{E}{w_1 + w_3}$$

Dies heisst aber Nichts Anderes, als dass die Stromstärke im Nerven dieselbe ist, als ob die Kette mit dem Nerven direct zum Kreise geschlossen wäre.

Will man sehr schwache Ströme durch den Nerven leiten, welche aber sehr genau abgestuft werden sollen, so giebt man dem Rheochord die Einrichtung Figur 26 (auf folg. S.). AB ist ein dicker Draht aus irgend einem gut leitenden Metall, etwa von Messing. Derselbe trägt bei B eine einfache,

bei A eine Doppelklemme. Auf dem Drahte ist der Schieber S beweglich. Verbindet man die Pole der Kette, mit A

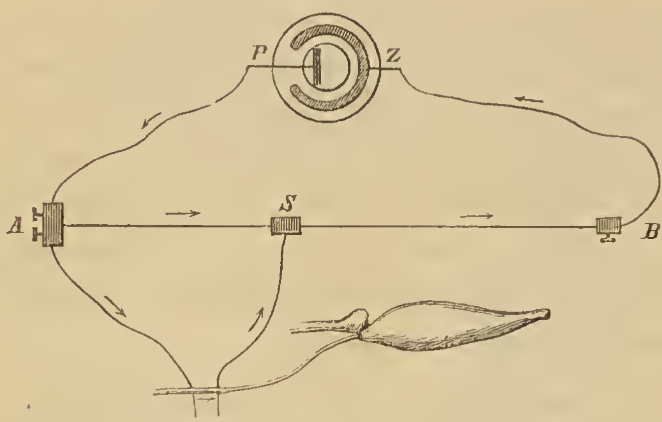


Fig. 26.

und B, und den Nerven mit A und S, so geht ein Stromzweig durch den Nerven, welcher um so stärker ist, je weiter S von A entfernt wird.

Nennen wir wiederum E die electromotorische Kraft der Kette, w_1 den Widerstand von SBZPA, w_1 den des eingeschalteten Drahtstücks SB, und w_2 den der Nervenleitung AnS, so ist abermals

$$J_3 = \frac{Ew_2}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$$

Ist nun AB ein dicker gut leitender Metalldraht, wie wir vorausgesetzt haben, so kann w_2 als unendlich klein angesehen werden, sowohl gegen w_1 als gegen w_3. Dann geht der Ausdruck über in

$$J_3 = \frac{Ew_2}{w_1 w_3}$$

d. h. in diesem Falle ist die Stromstärke im Nerven direct proportional dem Widerstande w_2, d. h. der Entfernung des Schiebers S von der Klemme B.

Du Bois-Reymond hat diesem Reochord eine Form gegeben, welche es zu genauen Messungen brauchbar macht. Dasselbe ist in Figur 27 (auf folg. S.) dargestellt. Der dicke Reochorddraht (an diesem Apparate von Platin) ist um den Rand einer kreisförmigen Scheibe von Hartgummi herum-

gelegt. Seine Enden stehen mit den Klemmen I und II am Fussgestell des Apparates in Verbindung, mittelst deren also

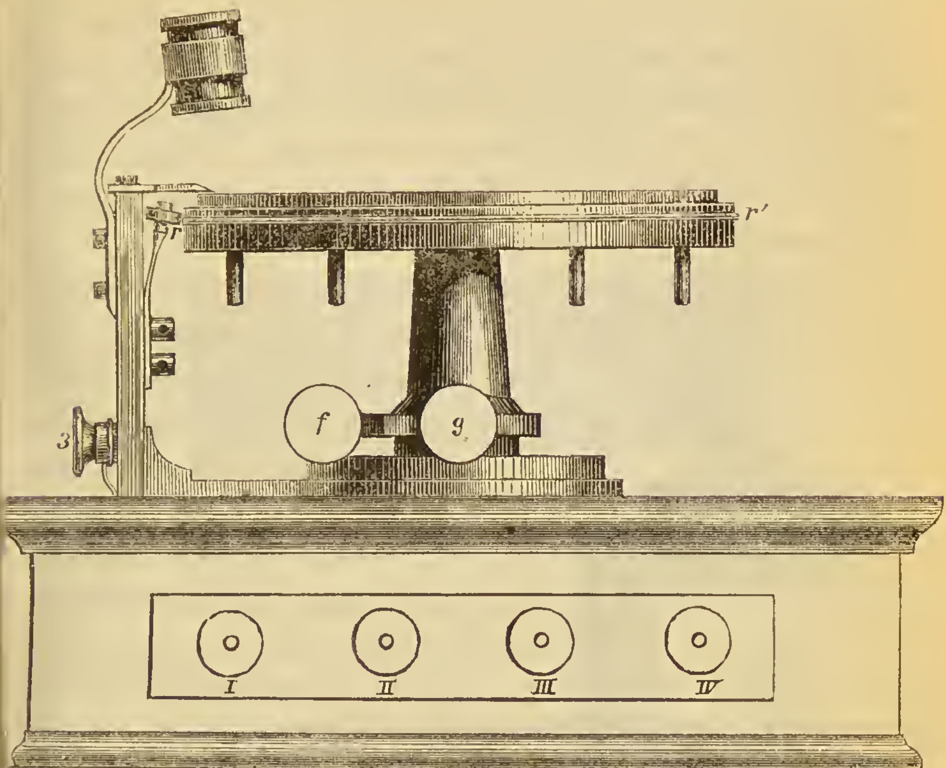


Fig. 27.

ein Strom durch die ganze Länge des Drahtes geleitet werden kann. Um von diesem Drahte einen Stromzweig abzuleiten, ist einerseits der Draht nahe seinem einen Ende über einen scharfen Metallsteg geführt, welcher mit der Klemme IV verbunden ist; andererseits wird ein kleines Platinröllchen r durch eine Metallfeder gegen den Draht gedrückt, welches Röllchen mit der Klemme III in Verbindung steht. Wir haben also nur die Klemmen III und IV mit dem Nerven zu verbinden, dann geht ein Zweig des Stromes durch denselben. Die Stärke dieses Zweiges hängt ab von der Länge des Drahtes zwischen dem Steg und der Rolle r. Um diese Entfernung zu ändern, ist die isolirende Scheibe mitsammt dem

Drahte um ihre verticale Axe drehbar, und der oberhalb der Scheibe angebrachte Zeiger gestattet an einer auf der Oberfläche angebrachten Theilung die Entfernung des Ableitungspunktes r vom Anfange des Drahtes abzulesen. Die unterhalb der Scheibe angebrachten Stifte dienen zur bequemen Drehung derselben. Die Schraube f bewirkt eine feinere Einstellung, wenn durch Anziehen der Schraube g die grobe Drehung unmöglich gemacht worden.

§. 44. Ein fast noch häufiger gebrauchtes Instrument ist der Schlüssel, welcher in Figur 28 abgebildet ist. Auf der isolirenden aus schwarzer Kautschukmasse gefertigten Unterlage a sind die beiden Messingklötze b und c befestigt. An c ist der Messinghebel d drehbar befestigt. Drückt man ihn an seinem knöchernen Handgriff nieder, so legt er sich an den Klotz b an und setzt ihn in gut leitende Verbindung mit c. Schaltet man diesen Schlüssel in den Kreis einer Kette ein, indem man einen Leitungsdraht in c, den anderen in b einschraubt, so dient er einfach zum Schliessen und Oeffnen der Kette und ersetzt so das in §. 20 erwähnte Quecksilbernäpfchen.

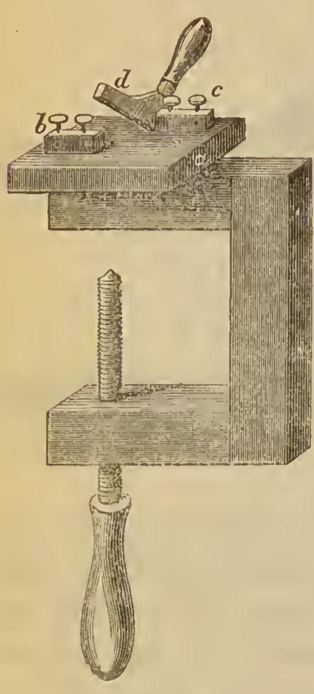


Fig. 28.

Verbindet man aber die Klötze b und c einerseits mit den beiden Polen einer Kette, andererseits mit den zum Nerven gehenden Leitungsdrähten und ist der Schlüssel, wie ihn die Figur zeigt, geöffnet, so geht der Strom der Kette durch den Nerven. Drückt man aber den Schlüssel nieder, so bildet er eine Nebenschliessung zum Nerven von so geringem Widerstand, dass gar kein Strom

durch den Nerven gehen kann. Diese Anordnung ist für manche Fälle sehr vortheilhaft, wie wir noch sehen werden.

§. 45. Eine dritte, äusserst wichtige Anwendung der Stromvertheilung in verzweigten Leitern ist die zur Bestimmung von Widerständen. Ist in Figur 29 der Strom in dem Zweige 5 gleich 0, so ist, wie wir im §. 41 bewiesen haben,

$$W_1 : W_2 = W_3 : W_4$$

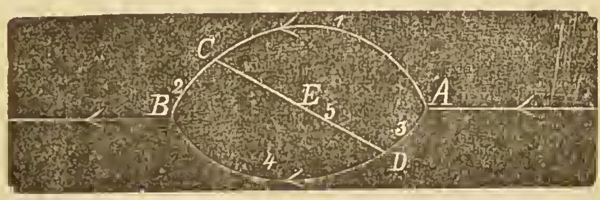


Fig. 29.

Schalten wir nun in den Zweig AD einen Rheostaten ein, in den Zweig BD einen Körper, dessen Widerstand bestimmt werden soll, ist ferner das Verhältniss der Widerstände AC und BC bekannt, und drehen wir den Rheostaten so lange, bis ein im Zweige CED befindlicher Multiplicator gar keinen Strom anzeigt, so muss der am Rheostat abgelesene Widerstand sich zu dem zu bestimmenden verhalten, wie $W_1 : W_2$. Sind z. B. diese beiden Widerstände einander gleich, so ist der zu bestimmende Widerstand direct gleich dem am Rheostaten abgelesenen. Ist aber der zu bestimmende Widerstand sehr gross, so giebt man den Zweigen AC und BC ein solches Verhältniss, dass z. B. $W_2 = 10 . W_1$ ist, dann hat man natürlich den am Rheostaten abgelesenen Widerstand mit 10 zu multipliciren, um den gesuchten Widerstand zu erhalten. Man nennt die in Figur 29 dargestellte Combination eine Wheatstone'sche Brücke.

Man kann auch so verfahren, dass man in den Zweig AD einen ganz bestimmten Widerstand, z. B. eine Siemens'sche Einheit, und in den Zweig BD den zu bestimmen-

den Widerstand einschaltet, und nun den Punct C auf ACB so lange hin und her verschiebt, bis im Zweige CD kein Strom mehr ist. Es muss dann offenbar der zu bestimmende Widerstand x sich zu der Einheit verhalten, wie der Widerstand von BC zu dem Widerstand von AC. Giebt man nun dem Zweige ACB die Einrichtung des in Figur 26 dargestellten Rheochords, so wird die Widerstandsbestimmung sehr einfach. Man braucht eben nur den Rheochordschieber so lange zu verschieben, bis die Multiplicatornadel auf 0 steht. Das Verhältniss, in welchem dann der Rheochorddraht durch den Schieber getheilt wird, ist dann gleich dem Verhältniss des gesuchten Widerstandes x zu der in AD eingeschalteten Einheit. Figur 30 stellt diese Anordnung dar. ACB oder der

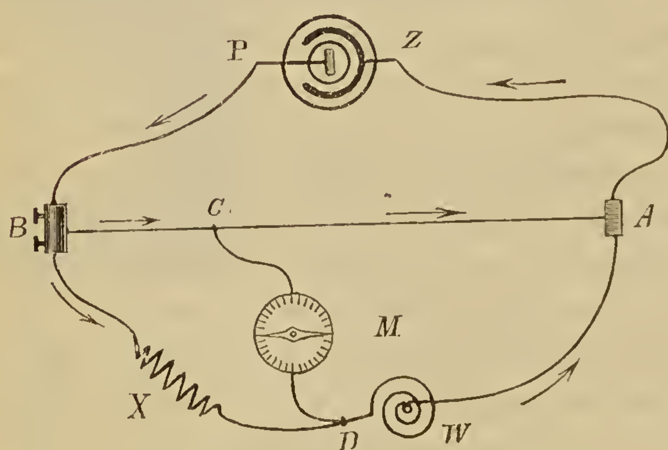


Fig. 30.

eine Zweig der Wheatstone'schen Brücke ist hier durch das Rheochord dargestellt, der andere Zweig ADB enthält bei x den zu messenden Widerstand, bei W den Vergleichswiderstand oder Etalon, z. B. eine Siemens'sche Einheit. In den Zweig CD ist der Multiplicator M eingeschaltet. Die Zweige deuten die Richtung der Ströme an, welche von der

Kette PZ der Brücke zugleitet werden, während in dieser selbst unserer Voraussetzung gemäss keine electromotorische Kraft ihren Sitz hat.

Da in diesem Falle der Schieber den Rheochorddraht nur in einem Punkte berühren darf, so giebt man dem Rheochord zweckmässig folgende Einrichtung: Man spannt einen Platindraht scharf auf eine gut lackirte hölzerne Schiene, die mit einer Theilung versehen ist, so dass der Draht unmittelbar auf der Schiene aufliegt. Ein kleiner Klotz, welcher durch eingegossenes Blei beschwert ist, trägt an seinem einen Ende eine starke Kupferplatte, an welcher unten eine den Klotz etwas überragende scharfe Platinschneide angelöthet ist. Diese Schneide setzt man auf den Platindraht auf. An der Kupferplatte ist der zum Multiplicator gehende Draht befestigt.

Es versteht sich von selbst, dass die Widerstände der Hülfsdrähte welche zur Einschaltung des zu untersuchenden Körpers und der zur Bestimmung benutzten Einheit dienen, in Rechnung gezogen werden müssen, wenn nicht, wie dies allerdings bei physiologischen Untersuchungen meist der Fall sein wird, ihr Widerstand als unendlich klein angesehen werden kann.

§. 46. Wir haben im Vorhergehenden gesehen, das ein electrischer Strom, in einem System von verzweigten Leitern sich so vertheilt, dass der durch jeden Zweig sich ergiessende Stromesantheil im umgekehrten Verhältniss zum Widerstand dieses Zweiges steht. Dabei ist es durchaus gleichgültig, wie gross die Zahl der Zweige ist, in welche sich der Leiter theilt. Denken wir uns nun einen Leiter von irgend welcher Gestalt, etwa eine kreisförmige Scheibe von Metall, an deren Umfang an zwei diametral gegenüberliegenden Puncten der Strom ein und austritt, so ist es offenbar gestattet, sich diese

Scheibe zusammengesetzt zu denken aus einer Anzahl leitender gleich dicker Streifen, welche alle in dem einen Puncte

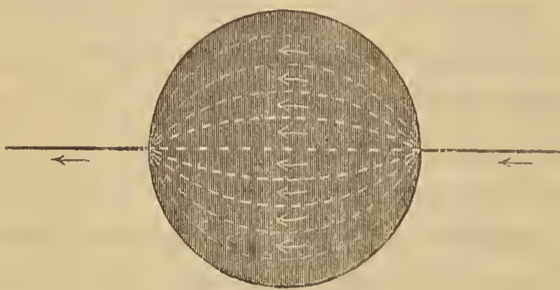


Fig. 31.

anfangen und in dem anderen endigen. Der Strom wird sich dann durch alle diese Streifen ergiessen, aber da die Länge der Streifen von dem mittelsten, diametral die Scheibe durchschneidenden, nach beiden Seiten hin immer mehr zunimmt, so muss die Stärke der Ströme in dem mittleren Streifen am grössten sein und nach beiden Seiten hin allmählich abnehmen. Denken wir uns nun die Streifen immer schmaler und immer näher an einander gerückt, so folgt, dass die ganze Scheibe durchflossen sein muss von einem System immer mehr von der geraden Linie abweichender, und der Halbkreisform sich anschliessender Stromescurven, welche alle von dem Puncte ausgehen, wo der Strom in die Scheibe eintritt, und in den Punct zusammenlaufen, wo der Strom die Scheibe verlässt. Das Verhältnisss wird aber das nämliche bleiben, wenn der Leiter irgend eine andere Gestalt hat, und die Zu- und Ableitung des Stromes an zwei beliebigen Puncten geschieht. Immer wird der Leiter von einem System von Strömen durchflossen sein, welche alle von dem Zuleitungs- nach dem Ableitungspuncte gehen, und den ganzen Leiter erfüllen, indem sich die letzten der Oberfläche des Leiters anschliessen. Figur 32 (auf folg. Seite) stellt ein solches System von Strömen

vor in einem viereckigen Leiter, wo die Zu- und Ableitung an zwei Puncten, die ungefähr gleichweit von der Mitte abstehen, geschieht.

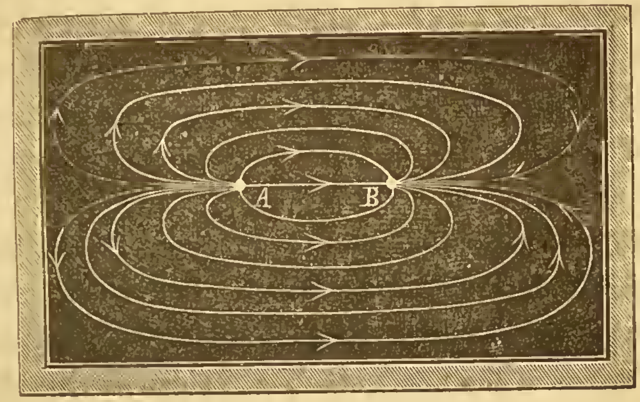


Fig. 32.

§. 47. Denken wir uns den Leiter Figur 32 als eine Ebene, auf welche in A und B die Pole einer Kette aufgesetzt werden, in A der positive, in B der negative Pol, so wirken die electrischen Spannungen, welche die Pole besitzen, vertheilend auf die natürlichen Electricitäten des ebenen Leiters und diese gerathen in Bewegung, indem die positive Electricität von A abgestossen, von B angezogen wird, die negative Electricität dagegen von A angezogen und von B abgestossen wird. Wir haben im §. 20 gesehen, wie sich aus diesen Anziehungen und Abstossungen der Vorgang des electrischen Stromes im Schliessungsbogen ableiten lässt. In dem jetzt von uns betrachteten Falle ist aber das Verhältniss insofern bedeutend schwieriger, als der punctförmige Poldraht nicht mit einem einfach linearen Leiter, sondern mit einem in der Ebene nach allen Richtungen sich ausdehnenden Leiter in Verbindung tritt. Die vertheilende Wirkung des Poles ist daher auch nach allen Richtungen hin thätig, und es strömt von A aus nach allen Seiten hin positive Electricität, während

von allen Seiten her negative Electricität nach A hinströmt. Um A herum bilden sich daher Schichten, auf denen die freie positive Spannung allmählich abnimmt. Dasselbe findet mit der negativen Spannung um B herum statt und diese Spannungen werden zuletzt auf einer irgendwo zwischen A und B gelegenen Linie Null sein. Deswegen ist die Zahl der Bahnen, auf denen die Strömung der Electricität zwischen A und B stattfindet, unendlich, ihre Gestalt und Lage hängt von der Lage der Puncte A und B ab und von der Gestalt des Leiters, in welchem die Bewegung stattfindet. Bisher haben wir diesen Leiter als nur in der Ebene ausgedehnt uns vorgestellt, gleichsam unendlich dünn. Handelt es sich aber um einen Körper, in dessen Innern die beiden Puncte A und B sich befinden, so geschieht natürlich das Strömen der Electricität gleichfalls nach allen Richtungen. Die Strömungsbahnen bilden dann in einander geschachtelte Flächen, welche alle durch die Puncte A und B gehen, und den ganzen Körper erfüllen. Legt man eine Ebene durch diese Puncte, so schneidet diese alle Strömungsbahnen in Curven, wie die in der Figur 33 dargestellten.

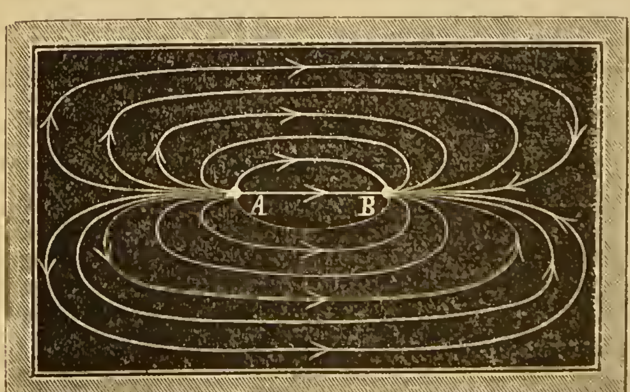


Fig. 33.

Wenn man den Gang berücksichtigt, welchen die einzel-

nen Stromfäden nehmen, so sieht man leicht, dass an den Puncten A und B die Stromdichte am grössten ist und mit der Entfernung von diesen Puncten immer mehr abnimmt. Denn durch die Puncte A und B strömt die ganze Electricitätsmenge, welche durch den Leiter überhaupt hindurchgeführt wird, während sie sich an allen anderen Puncten über einen grösseren Raum vertheilt. Auch geschieht diese Vertheilung nicht gleichmässig, da die Stromfäden an Stärke abnehmen, je mehr sie von der A und B verbindenden geraden Linie abweichen. Je näher die Puncte A und B einander liegen, desto schneller nehmen die Ströme, welche sich nicht direct durch die gerade Verbindungslinie AB ergiessen, an Stärke ab, um so schneller vermindert sich daher auch die Stromdichte mit der Entfernung von den Puncten A und B. Es ist daher leicht einzusehen, dass diejenigen Wirkungen des electrischen Stromes, welche von der Stromdichte abhängen, schon in einiger Entfernung von den Puncten A und B ganz unmerklich werden können.

Diese Gesetze der Stromvertheilung in unregelmässigern Leitern finden eine wichtige Anwendung in der Electrotherapie. Setzt man die Pole einer Kette an zwei beliebige Puncte des menschlichen Körpers, so wird von diesen aus der Strom sich durch den g a n z e n Körper verbreiten in einer Unzahl von mehr oder weniger gekrümmten Stromfäden, welche alle in den Ansatzpuncten zusammenlaufen. Aus dem Vorhergehenden ist klar, dass die Wirkung dieser Ströme an den Ansatzpuncten selbst am mächtigsten, demnächst am stärksten auf der Verbindungslinie zwischen beiden sein, mit der Entfernung von diesen Puncten aber schnell abnehmen muss. Aus diesem Grunde ist es möglich, dass der Strom an den Ansatzpuncten starke Wirkungen ausübt, während er schon in geringer Entfernung ganz unmerklich wird. Je näher die Ansatzpuncte, desto leichter wird eine solche L o c a l i s a t i o n der Wirkung sein. D u c h e n n e war es, der zuerst practische Anwendung hiervon machte und lehrte, wie man einzelne Muskeln, ja Theile von Muskeln isolirt reizen könne. Liegen auf dem Wege der Stromescurven Gebilde, welche sich durch eine grössere Empfindlichkeit gegen den electrischen Strom auszeichnen, als ihre Umgebung hat, so können an diesen Puncten aber selbst in grösserer Entfernung von den

Electroden sich Wirkungen geltend machen trotz der geringeren Stromdichte. Solche Fälle kommen auch in physiologischen Versuchen vor und können hier zu Täuschungen Anlass geben.

Denken wir uns an den von Strömen durchflossenen Leiter einen zweiten Leiter angelegt, durch dessen Berührung jedoch keine electromotorischen Kräfte erregt werden sollen, so werden sich auch durch diesen die Ströme ergiessen, das Ganze wird ein neues System von anderer Gestalt darstellen. Hierin wird aber auch nichts geändert, wenn der angelegte Leiter, den wir uns von linearer Gestalt denken wollen, den körperlichen Leiter nur in zwei Puncte berührt. Es wird sich dann durch diesen Leiter ein Strom ergiessen, dessen Stärke von dem Widerstande des Leiters und der Art seiner Anlegung abhängt. Schaltet man in diesen Leiter ein strommessendes Werkzeug ein, und misst die Stärke des durch ihn sich abzweigenden Stromes, bei verschiedenen Arten der Anlegung an den körperlichen Leiter, so kann man daraus die Vertheilung der Ströme in letzterem kennen lernen. Hiervon wird im 9. Capitel ausführlicher die Rede sein. Man nennt den solchergestalt an einen von Strömen durchflossenen Körper angelegten linearen Leiter den ableitenden Bogen, die Anlagerungspuncte heissen die Fusspuncte des Bogens, und die Entfernung der Fusspuncte von einander die Spannweite.

Ist der körperliche Leiter nicht, wie wir bisher stillschweigend angenommen haben, in sich homogen, sondern aus Leitern von verschiedenen Widerständen zusammengesetzt, so ändert sich natürlich dadurch der Gang der Stromescurven. Denken wir uns den Leiter wiederum in eine Anzahl gleich dicker Streifen zerlegt, welche alle in dem Ein- und Austrittspunct des Stromes zusammenlaufen, so werden diejenigen Streifen, welche Theile von geringerem Leitungsvermögen enthalten, natürlich einen grösseren Widerstand bieten. Da nun die durch die einzelnen Streifen gehenden Stromantheile in umgekehrtem Verhältniss zu ihrem Widerstande stehen, so ist klar, dass durch jene Streifen ein geringerer Stromantheil gehen muss. Eine genauere Verfolgung solcher Probleme ist jedoch äusserst

schwierig. Diejenigen, welche sich mit dem Gegenstande eingehender bekannt zu machen wünschen, verweise ich auf die Arbeiten von Kirchhoff (Pogg. Ann. Bd. 64. S. 497.) Bd. 67. S. 344. Bd. 75. S. 169.), Helmholtz (Pogg. Ann. Bd. 89. S. 213 und 353.), Smaasen (Pogg. Ann. Bd. 69. S. 161.), Bosscha (Pogg. Ann. Bd. 104. S. 460.) und auf die ausführliche Darstellung in du Bois-Reymond's Untersuchungen über thierische Electricität (Bd. 1. S. 561.) wo die speciellen electrophysiologischen Probleme behandelt sind.

Capitel VIII.

Vom Electromagnetismus und der Erregung electrischer Ströme durch Induction.

---

§. 48. Wir kehren jetzt zu der Betrachtung der Wirkungen electrischer Ströme zurück, welche für die Electrophysiologie und Electrotherapie von Wichtigkeit sind, und betrachten zunächst einige von den Wirkungen, welche ein von einem Strom durchflossener Leiter in die Ferne hin ausübt.

Leitet man um einen Cylinder von weichem Eisen einen Strom, indem man ihn mit einem mit Seide besponnenen Kupferdraht umwickelt, welcher vom Strom durchflossen wird, so wird der Eisenstab magnetisch und erlangt alle Eigenschaften eines auf irgend eine andere Weise magnetisch gemachten Stahlstabes. Das eine Ende des Eisenstabes wirkt jetzt anziehend auf den Nordpol, abstossend auf den Sudpol einer Magnetnadel, verhält sich also ebenfalls als Südpol, während das andere Ende den Südpol der Magnetnadel anzieht und den Nordpol abstösst, also ein Nordpol ist.

Welches Ende des Stabes ein Süd- und welches ein Nordpol wird, das hängt von der Richtung ab, in welcher der Strom den Stab umkreisst. Sieht man nämlich den Stab von der einen Endfläche her an, und kreist der Strom um ihn in der Richtung des Zeigers einer Uhr, so ist dieses Ende ein

Südpol; hat der Strom die umgekehrte Richtung, so ist es ein Nordpol, wie Figur 34 veranschaulicht. Oeffnet man den Strom, welcher den Cylinder umkreist, so hört dessen Magnetismus auf, er verhält sich wie ein anderer Eisenstab, wird jedoch wiederum magnetisch, sobald man den Strom schliesst.

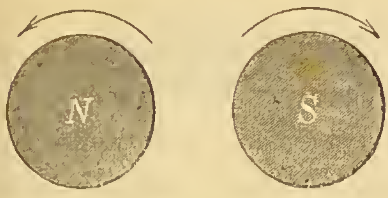


Fig. 34.

Entfernt man den Eisenstab aus der Spirale, so zeigt sich, dass die vom Strome durchflossene Spirale schon allein magnetische Eigenschaften hat, wenngleich in viel schwächerem Grade, als wenn der Eisenstab noch darin war. Das eine Ende der Spirale zieht den Nordpol einer Magnetnadel an und stösst den Südpol ab, das andere Ende verhält sich umgekehrt. Hängt man eine solche Spirale freischwebend auf, so dass sie in einer horizontalen Ebene sich drehen kann, dann stellt sie sich in den magnetischen Meridian ein, ihr eines Ende zeigt nach Norden, das andere nach Süden, und wenn man letzteres betrachtet, so findet man, dass der Strom in derselben Richtung kreist, wie der Zeiger einer Uhr. Es folgt daraus, dass man jedes Element eines galvanischen Stromes ersetzt denken kann durch einen kleinen Magneten, welcher senkrecht auf das Stromelement gerichtet ist, und umgekehrt jedes magnetische Element ersetzt denken kann durch einen senkrecht darauf gestellten galvanischen Strom. Die Richtung des letzteren folgt einfach aus der oben gegebenen Regel. Daraus ist dann von selbst klar, wie alle Wirkungen, welche der electrische Strom in die Ferne ausübt, auch hervorgebracht werden können durch Magnetstäbe, und dass diese Wirkungen sehr verstärkt werden, wenn man in die vom Strom durchflossene Spirale einen weichen Eisenstab steckt. Denn indem

dieser durch den Strom zum Magneten wird, unterstüzt er die Wirkungen des Stromes.

§. 49. Seien A und B zwei parallele kreisförmige von einander isolirte Leiter, und A von einem Strome durchflossen, so wird ein in B eingeschalteter Multiplicator natürlich keine Ablenkung zeigen. Bewegt man jedoch den einen dieser Leiter mit grosser Geschwindigkeit gegen den anderen, so wird die Nadel abgelenkt und zeigt hierdurch an, dass in B ein Strom circulirt, welcher jedoch nur so lange dauert, als die Bewegung. Die Richtung dieses Stromes ist verschieden je nach der Richtung der Bewegung. Wird nämlich die Entfernung der beiden Leiter vergrössert, so ist der in B entstehende Strom gleichgerichtet dem in A circulirenden, werden die Leiter aber einander genähert, so hat der in B entstehende Strom die entgegengesetzte Richtung, wie der in A circulirende.

Die Stärke der Ströme, welche solchergestalt bei der Bewegung durch die Wirkung des in A circulirenden Stromes in B entstehen und welche man Inductionsströme oder inducirte Ströme nennt, ist um so grösser, mit je grösserer Geschwindigkeit die Bewegung geschieht, immer aber äusserst schwach. Man kann dieselben jedoch ausserordentlich verstärken, wenn man jedem der Leiter die Gestalt einer spiralig aufgewundenen Rolle giebt, weil dann jede Windung des Leiters auf jede Windung des anderen inducirend wirkt. Bewegt man zwei solche Rollen gegen einander, von denen die eine von einem Strom durchflossen ist, so kann man schon mit einem wenig empfindlichen Multiplicator die in der zweiten Rolle entstehenden Ströme nachweisen.

§. 50. Stellt man die Rollen ruhig nebeneinander auf und schliesst und öffnet abwechselnd den Strom der Rolle A, so sieht man, dass bei jeder Schliessung und Oeffnung in B ein Strom entsteht, welcher bei der Schliessung die entgegen-

gesetzte Richtung hat, als der in A circulirende, bei der Oeffnung aber die gleiche Richtung. Diese Ströme dauern immer

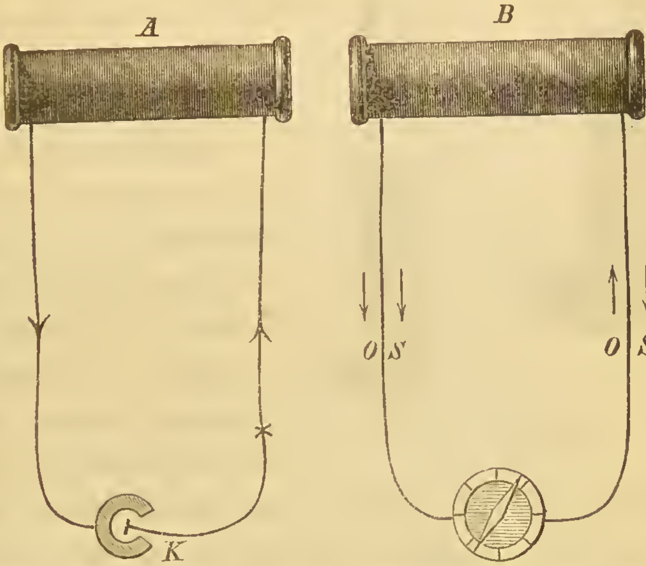


Fig. 35.

nur sehr kurze Zeit und verschwinden wieder, wenn der Strom in A geschlossen oder geöffnet bleibt. Ihre Stärke ist um so grösser, je stärker der in A circulirende Strom ist und je näher die beiden Rollen einander stehen, und wenn die Entfernung der Rollen sehr beträchtlich ist, so sind sie selbst mit den empfindlichsten Multiplicatoren nicht mehr nachweisbar. Die Anzahl der Windungen vermehrt ebenfalls die Wirkung. Man giebt daher, um möglichst starke Inductionsströme zu erhalten, der Rolle B möglichst viele Windungen eines recht feinen Drahtes, während man an der Rolle A nur wenige Windungen eines dicken Drahtes giebt, damit ihr Widerstand den durch sie geleiteten Strom nicht zu sehr schwäche. Um die Entfernung der Windungen beider Rollen möglichst verringern zu können, macht man die eine Rolle weiter, so dass die eine in die andere gesteckt werden kann, wie Fig. 36. (auf folg. S.) zeigt. Die Rolle B wird gewöhnlich die primäre Rolle genannt, weil in ihr der von der Kette direct gelieferte Strom

circulirt, während man die Rolle A, in welcher der durch jenen ersten erzeugte oder secundäre Strom kreist, die *secundäre Rolle* zu nennen pflegt.

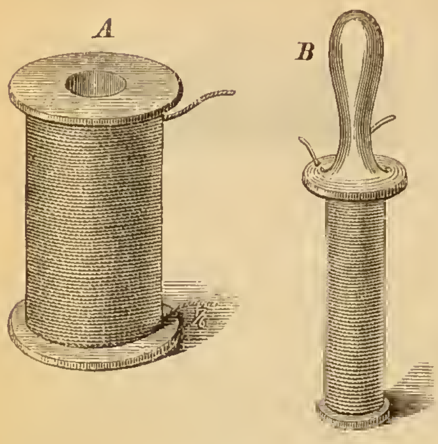


Fig. 36.

Verbindet man die Enden der secundären Spirale mit einander, sei es direct, sei es durch einen beliebigen Leiter, so gehen beim Schliessen und Oeffnen des primären Stromes die Inductionsströme durch den Leiter. Bleibt die Rolle offen, so können die Ströme nicht zu Stande kommen. Indem aber bei dem jedesmaligen Schliessen und Oeffnen des primären Kreises die inducirende Wirkung stattfindet, wird die neutrale Electricität der Rolle zersetzt, die positive häuft sich an dem einen, die negative an dem anderen Ende der Rolle an. Lässt man die Enden der Rolle in Spitzen auslaufen, welche man einander gegenüberstellt, so können die freien Electricitäten an den Spitzen eine solche Spannung erlangen, dass sie den Widerstand der Luft überwinden und sich in Gestalt eines Funkens vereinigen. Setzt man aber das eine Ende der Rolle oder beide in leitende Verbindung mit dem Erdboden, so entweicht die freie Electricität nach der Erde, und wenn in diese Ableitung ein Nerv oder Muskel eingeschaltet ist, so wird derselbe erregt. Man bezeichnet dies als eine *unipolare* Inductionswirkung, weil der thierische Theil nur mit einem Pole der Inductionsrolle in Verbindung ist.

Solche unipolare Wirkungen treten aber auch auf, wenn ein Pol der Inductionsspirale zur Erde abgeleitet ist, während er mit dem anderen Pole durch einen Leiter von sehr grossem

Widerstande verbunden ist. In diesem Falle geht ein Theil der freien Electricität, statt durch diesen schlechten Leiter, direct zur Erde, und wenn auf diesem Wege thierische Theile vorhanden sind, welche vom Strom erregt werden können, so geschieht dies. Man sagt dann, die Inductionsrolle sei im Zustande unvollkommener Schliessung, welcher den Uebergang bildet zu dem der ganz ungeschlossenen Spirale.

Aber es bedarf auch gar nicht der Ableitung zur Erde, um die Erscheinungen der unipolaren Inductionswirkungen zu zeigen. Es genügt vielmehr zu diesem Zwecke, wenn das eine Ende der offenen oder unvollkommen geschlossenen Spirale mit einem isolirten Leiter von grosser Oberfläche in leitender Verbindung steht. In diesem Falle strömt die freie Electricität nach dem Leiter, wo sie wegen der grossen Oberfläche ja nur eine geringe Dichte erlangt. Ist nun zwischen dem Ende der Spirale und dem Leiter ein Nerv eingeschaltet, so kan dieser erregt werden.

Dieser letztere Fall der unipolaren Induction kommt sehr häufig bei physiologischen Versuchen vor und kann dann zu Täuschungen Veranlassung geben. Leitet man z. B. einen Inductionsstrom durch einen Nerven, welcher an einem Ende mit dem thierischen Körper in Verbindung steht, wie dies ja bei Vivisectionen meist der Fall ist, so bildet das zwischen den Electroden befindliche Nervenstück wegen seines beträchtlichen Widerstandes die unvollkommene Schliessung und das ganze Thier den Leiter von grosser Oberfläche. Auf diesen geht daher ein Theil der freien Electricität über, und wenn auf dem Wege dahin ein Nerv erregt wird, so kann der Effect dieser Erregung leicht fälschlich für den gesuchten Effect des unmittelbar erregten Nerven genommen werden. Noch viel grösser wird natürlich die Gefahr einer solchen Täuschung, wenn das Thier gar nicht isolirt ist.

Will man in physiologischen Versuchen von den unipo-

laren Wirkungen nicht getäuscht werden, so ist es auch nöthig, den zu reizenden Nerven vor der unzeitigen Erregung auf unipolarem Wege sicher zu stellen. Wollte man z. B. zwei Drähte an den Nerven legen, den einen direct mit dem einen Pole der Inductionsspirale verbinden, den anderen aber durch einen Schlüssel oder ein Quecksilbernäpfchen unterbrechen, so würde der Nerv stets unipolarer Erregung ausgesetzt sein. Man verbindet daher die Pole der Inductionsspirale mit den beiden Klemmen des Schlüssels Fig. 28, und führt von diesem dann zwei Drähte zum Nerven. So lange der Schlüssel geschlossen ist, bildet er eine sehr gut leitende Nebenschliessung zum Nerven, und es geht keine Spur der Inductionsströme durch den letzteren. Oeffnet man aber den Schlüssel, dann ist die Verbindung des Nerven mit den Polen der Inductionsspirale hergestellt, und die Erregung beginnt.

Schwieriger ist es, während der Reizung des Nerven selbst die gleichzeitige Wirkung unipolarer Abgleichung zu verhüten. Am besten ist es, zu diesem Zwecke eine gute Ableitung zur Erde von der oberen der beiden an den Nerven angelegten Electroden ausgehen zu lassen. Indem man auf diese Weise die unipolare Abgleichung zur Erde begünstigt, verhütet man, dass sie durch den Nerven selbst und die mit ihm in Zusammenhang stehenden Theile erfolge. Die Ableitung zur Erde geschieht am besten durch eine Verbindung mit den Gas- oder Wasserleitungsröhren des Gebäudes mittelst eines möglichst kurzen und dicken Drahtes.

Welche Vorsichtsmaassregeln man aber auch zur Verhütung der unipolaren Erregung anwenden möge, es ist immer anzurathen, dass man sich bei physiologischen Versuchen, wo die Reizung mit starken Inductionsströmen geschieht, und daher die Gefahr unipolarer Erregung vorhanden ist, durch einen Controlversuch von der An- oder Abwesenheit derselben überzeuge. Dieser Controlversuch beruht darauf, dass die

Fortpflanzung der Erregung in einem Nerven durch Unterbindung oder Durchschneidung des Nerven aufgehoben wird, während die electrische Leitung durch die unterbundene Stelle oder die Schnittstelle der beiden aneinander gelegten Nervenstücke nach wie vor möglich ist. Hat man daher bei der Reizung eines Nerven einen gewissen Erfolg beobachtet, durchschneidet dann den Nerven unterhalb der Electroden und klebt die Schnittflächen aneinander, so muss bei Wiederholung der Reizung jede Wirkung ausbleiben. Anderenfalls ist man sicher, dass dieselbe durch unipolare Wirkung zu Stande gekommen und daher nicht zu unzweideutigen Schlüssen zu verwerthen ist.

§. 51. Wie die Windungen zweier Rollen, so wirken übrigens auch die Windungen einer und derselben Rolle inducirend auf einander. Leitet man den Strom einer Kette durch eine Rolle mit vielen Windungen, bringt neben der Rolle Abzweigungen an, welche in kupferne Handhaben auslaufen, und fasst die Handhaben mit den Händen, so geht, weil der Widerstand des menschlichen Körpers den der Rolle bedeutend über-

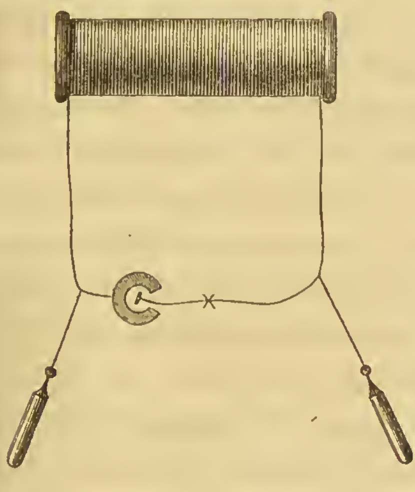


Fig. 37.

trifft, fast gar kein Strom durch den Körper. Wird jetzt der Kreis an der mit × bezeichneten Stelle unterbrochen, so fühlt man einen Schlag, herrührend von dem bei der Oeffnung in der Rolle entstehenden Inductionsstrom, der sich, da sonst keine Leitung vorhanden ist, durch den Körper ergiesst. Man nennt diesen Strom den Extrastrom oder Extracurrent.

Ein solcher entsteht auch bei der Schliessung des Stromes, ist aber hier nicht leicht nachzuweisen. Die folgende, zuerst von Edlund benutzte Anordnung liefert diesen Nachweiss: Der Strom der Kette a theilt sich bei b und c in zwei Zweige, welche in entgegengesetzter Richtung um eine Magnetnadel herumgeführt sind. In den einen Zweig cemtgb ist die Spirale S eingeschaltet, der andere Zweig cfpihb enthält einen Widerstand, welcher dem von S gleich, aber zickzackförmig ausgespannt ist. Es gehen also um die Magnetnadel zwei gleich starke, aber entgegengesetzt gerichtete Ströme, wie die ungefiederten Pfeile zeigen, und es kann daher keine Ablenkung der Nadel erfolgen. Schliesst man nun den Strom, indem man den einen Pol der Kette, q, in ein bei b angebrachtes Quecksilbernäpfchen taucht, so wird die Nadel abgelenkt im Sinne des Zweiges cfpihb, kehrt aber bald wieder auf den Nullpunkt zurück. Denn der im anderen Zweige entstehende Strom wird anfänglich durch den in der Spirale S entstehenden Extrastrom, welcher ja die entgegengesetzte Richtung hat, als der Hauptstrom, geschwächt und jener muss daher zeitweise das Uebergewicht haben. Oeffnet man aber die Kette, so hört der Hauptstrom ganz auf, in der Spirale S entsteht ein Extrastrom, welcher dem Hauptstrom gleichgerichtet ist, und dieser ergiesst sich durch beide Zweige in gleicher Richtung, wie die gefiederten Pfeile zeigen. Man erhält daher eine Ablenkung der Nadel in entgegengesetzter Richtung als bei der Schliessung.



Fig. 38.

§. 52. Nähert man einer Rolle, welche mit dem Multiplicator in Verbindung steht, schnell einen Magnetstab, so

wird ebenfalls in der Rolle ein Strom idueirt. Ebenso entsteht ein Strom in der Rolle, aber in entgegengesetzter Riehtung als vorher, wenn man den Magneten schnell entfernt. Die Richtung dieser Ströme kann man leieht bestimmen, wenn man sieh statt des Magnetstabes einen Eleetromagneten denkt und beaehtet, in weleher Riehtung der Strom um diesen eireuliren müsste, um in ihm dieselbe Vertheilung des Magnetismus zu erzielen, als der Magnetstab hat. Bei der Annäherung ist dann der in der Rolle entstehende Strom entgegengesetzt, bei der Entfernung gleiehgeriehtet, wie jener hypothetisehe den Magnetstab umkreisende Strom.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die bei der Bewegung zweier Rollen gegeneinander entstehenden Induetionsströme, von welehen im §. 49. die Rede war, ungemein verstärkt werden müssen, wenn man die Rolle A, welehe vom primären Strom durehflossen wird, einen weiehen Eisenstab hineinsteekt. Denn indem dieser zum Eleetromagneten wird, summiren sieh die indueirenden Wirkungen der Rolle und des Magneten. Ebenso werden die im §. 50 besproehenen Ströme, welehe bei der Sehliessung und Oeffnung eines Stromes entstehen, ungemein verstärkt, wenn man in die primäre Rolle einen weiehen Eisenstab steekt. Denn indem dieser beim Sehluss der Kette plätzlieh zum Magnet wird, wirkt er gerade so, als ob ein Magnet aus unendlieher Entfernung (wo seine Wirkung Null ist) plötzlieh ganz nahe herangebraeht würde, und indem beim Oeffnen der Kette sein Magnetismus plötzlieh versehwindet, ist es, als ob der Magnet plötzlieh in unendliehe Ferne entrüekt würde. In beiden Fällen müssen aber die indueirenden Wirkungen der Magnete dieselben sein, wie die der Rollen selbst, also jene wesentlieh verstärken.

Die Induetionsströme sind sehr heftiger physiologiseher Wirkungen fähig. Sie nähern sieh in dieser Beziehung sehr den Strömen der Leydener Flasehen, denen sie ja aueh in

Bezug auf ihre kurze Dauer gleichen. Wir wollen hier nur andeuten, dass gerade in dieser kurzen Dauer die Ursache ihrer starken physiologischen Wirkung liegt, weil sich dadurch einige auffällige Erscheinungen erklären, welche für die Construction der Inductionsapparate von Wichtigkeit sind.

§. 53. Legt man nämlich in die Höhlung der inneren Rolle des in Fig. 36. dargestellten Inductionsapparates einen weichen Eisenstab, und vergleicht die physiologische Wirkung der Inductionsschläge mit und ohne denselben, (was sehr gut nach der Empfindung geschehen kann, welche sie z. B. in den Armen hervorufen) so wird man finden, dass diese nicht so sehr verstärkt ist, als man nach der Zunahme der magnetischen Wirkung erwarten sollte. Ersetzt man nun den Eisenstab durch ein Bündel weicher Eisendrähte, so erscheint die physiologische Wirkung ungemein verstärkt. Der Grund dieser stärkeren Wirkung des Drahtbündels erhellt aus folgender Betrachtung:

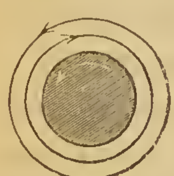


Fig. 39.

Stellt in Fig. 39. der mittlere Kreis die primäre Rolle, der äussere Kreis die secundäre Rolle und der mittelste schraffirte Kreis den massiven Eisenstab vor, so entsteht bei der Schliessung des primären Stromes nicht nur in der secundären Rolle ein Inductionsstrom, sondern auch in der Masse des Eisenkernes, welcher ja auch ein Leiter ist. Dieser letztere nun wirkt bei seinem Entstehen wieder inducirend auf die secundäre Spirale, und zwar in entgegengesetzter Richtung als die primäre Spirale. Der Inductionsstrom der secundären Spirale erleidet dadurch eine solche Verzögerung dass seine physiologische Wirkung beträchtlich geschwächt wird. Derselbe Vorgang wiederholt sich bei der Oeffnung des Stromes. Besteht der Eisenkern jedoch aus einem Bündel dünner Drähte, welche durch einen Firnissüberzug oder auch nur durch die dünne

Oxydschicht, welche sich beim Ausglühen gebildet hat, von einander isolirt sind, so kann der innere Inductionsstrom nicht entstehen, mithin fällt die physiologische Wirkung des in der secundären Spirale entstehenden Stromes stärker aus.

Auf demselben Vorgange beruht auch die schwächende Wirkung, welche ein zwischen der primären und der secundären Spirale eingeschobener Leiter ausübt. Denken wir uns zwischen den beiden Spiralen eine kupferne Röhre eingeschoben, so spielt diese dieselbe Rolle, wie vorher der massive Eisenkern. Zieht man die kupferne Röhre allmählich heraus, so wird ihre schwächende Wirkung immer geringer. Einer solchen Röhre bedient sich Duchenne bei seinen Inductionsapparaten, um die Wirkung derselben nach Belieben abzustufen.

§. 54. Die verzögernde Wirkung, welche massive Eisenkerne oder die eben erwähnte Kupferröhre ausüben, bringt aber auch die primäre Spirale selbst schon hervor durch den in ihr selbst entstehenden Extrastrom. Schliesst man den Strom in der primären Spirale, so entsteht in ihr zugleich der Extrastrom und dadurch wird der in der secundären Spirale inducirte Strom verzögert und seine Wirkung geschwächt. Bei der Oeffnung aber kann der Extrastrom in der primären Spirale nicht zur Erscheinung kommen, da eben durch die Oeffnung des Kreises ihm die Möglichkeit genommen ist, sich durch denselben zu ergiessen. Die Folge davon ist, dass die physiologische Wirkung des Oeffnungsinductionsstromes die des Schliessungsinductionsstromes bedeutend übertrifft. Will man, wie es zu manchen physiologischen Zwecken nothwendig ist, die Wirkung beider Ströme gleich stark machen, so muss man auch dem Oeffnungsextrastrome Gelegenheit bieten, sich abgleichen zu können. Dies erreicht man auf folgende Weise: Man verbindet die Enden der primären Rolle mit den beiden

Klötzen des Schlüssels Fig. 28. und die Pole der Kette mit den anderen Schrauben derselben Klötze. Der Schlüssel bildet dann eine Nebenschliessung zur primären Rolle. Ist er geschlossen, so geht, da sein Widerstand bedeutend geringer ist, als der der Rolle, nur ein sehr geringer Bruchtheil des Stromes durch die Rolle. Oeffnet man den Schlüssel, so wird der Strom in der Rolle plötzlich sehr stark, dadurch wird in der secundären Spirale ein Strom inducirt und dieser wird durch den gleichzeitig in der primären Spirale entstehenden Extrastrom verzögert. Schliesst man den Schlüssel wieder, so wird der Strom der primären Spirale sehr schwach. Dies wirkt inducirend auf die secundäre Spirale, ebenso als hätte man den Strom ganz geöffnet. Da sich jetzt aber der in der primären Spirale entstehende Oeffnungsextrastrom durch den Schlüssel abgleichen kann, so wirkt er ebenfalls verzögernd auf den Strom der secundären Spirale, welcher daher jetzt nicht mehr stärker wirkt, als der Schliessungsinductionsstrom.

Die richtige Erklärung der stärkeren Wirkung der Drahtbündel im Vergleich zu der der Eisenkerne gab zuerst Magnus, und Dove wies nach, dass die Schwächung der physiologischen Wirkung in einer Verzögerung der Inductionsströme bestehe. Liess er nämlich in zwei ganz gleichen Rollen durch einen und denselben Strom Inductionsströme entstehen, welche in entgegengesetzter Richtung um eine Magnetnadel gingen, legte dann in die eine Rolle einen massiven Eisenstab, in die andere ein Drahtbündel, welches durch den primären Strom schwächer magnetisch wurde, als der massive Kern, so musste auch der in der letzteren Rolle erregte Inductionsstrom schwächer sein, als der in der ersteren erregte. Dennoch sah er, dass jedesmal die Nadel zuerst eine zuckende Bewegung im Sinne des Stromes machte, dessen Rolle das Drahtbündel enthielt, um dann erst durch den anderen Strom in entgegengesetzter Richtung und zwar viel stärker abgelenkt zu werden. Siehe Dove, Untersuchungen im Gebiete der Inductionselectricität. Berlin 1843.

§. 55. Schliesst und öffnet man den Strom der primären Rolle oft hintereinander, so erhält man in der secundären Rolle eine Reihe von abwechselnd gerichteten Strömen. Da

diese in der Physiologie und Therapie sehr vielfach angewandt werden, so ist man bemüht gewesen, möglichst zweckmässige Apparate zu construiren, welche solche Ströme liefern. Das Schliessen und Oeffnen der Kette geschieht sehr leicht durch ein sogenanntes Blitzrad. Dasselbe besteht aus einem gezahnten Messigrade, welches mit seiner Messingaxe in Messingpfeilern drehbar ist. Vor dem Rade ist ein federnder Draht befestigt, welcher auf den Zähnen des Rades schleift und beim Drehen des Rades von einem Zahn auf den andern überspringt. Leitet man den Strom durch Rad und Draht und dreht das Rad schnell um seine Axe, so wird der Strom schnell hintereinander geschlossen, so oft der Draht einen neuen Zahn berührt und unterbrochen, so oft der Draht den Zahn wieder verlässt.

Dieses Schliessen und Oeffnen des Stromes kann man aber noch zweckmässiger durch den Strom selbst verrichten lassen, indem man in den Strom einen selbstthätigen electromagnetischen Hammer einschaltet. Dieser sinnreiche von einem Frankfurter Mechaniker Wagner erfundene Apparat ist in Fig. 40. abgebildet, und zwar in der verbesserten

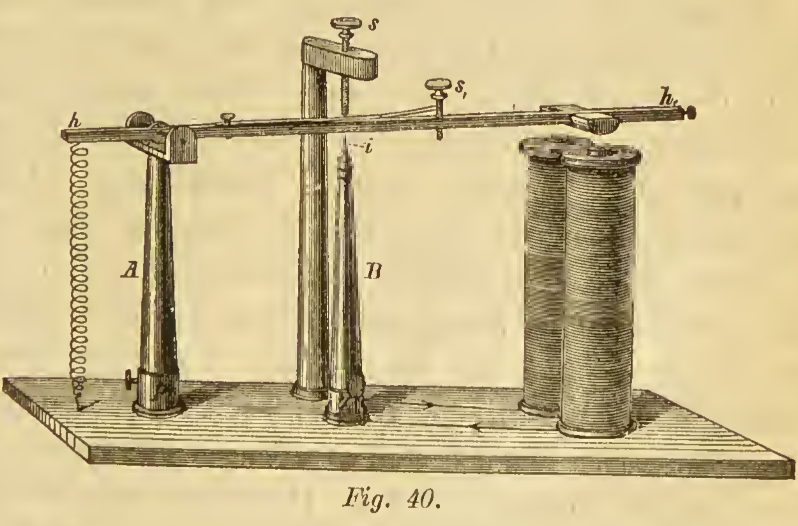


Fig. 40.

Form, welche ihm von Halske ertheilt worden ist. Der Strom der Kette tritt durch die Säule A in den Hebel hh_1,

welcher durch eine Spiralfeder gegen die Schraube s gedrückt wird. Von s gelangt der Strom zu den Windungen eines kleinen Electromagneten, und nachdem er diese durchlaufen, durch die Säule B zur Kette zurück. Ueber den Polen des Electromagneten schwebt, am Hebel $h h_1$ befestigt, ein Anker von weichem Eisen. Indem dieser von dem Electromagneten angezogen wird, reisst er den Hebel $h h_1$ von der Spitze der Schraube s und unterbricht den Strom. Dadurch aber verliert der Electromagnet seinen Magnetismus, er lässt den Anker los, und der Hebel $h h_1$ wird durch die Wirkung der Spiralfeder wieder gegen die Schraube s angedrückt. Indem dadurch der Strom wieder geschlossen wird, erlangt der Electromagnet wieder seine Kraft, zieht den Anker wieder an und unterbricht den Strom u. s. f. so lange die Kette zwischen den Säulen A und B eingeschaltet bleibt.

Man kann diesen Hammer auch zu kleinen mechanischen Arbeiten verwenden, z. B. zum mechanischen Tetanisiren des Nerven, wie dies Heidenhain gethan hat. Man befestigt dann die nöthigen Vorrichtungen an dem Hebel $h h_1$. Damit der Hammer aber einen regelmässigen und kräftigen Gang habe, ist noch folgende Einrichtung getroffen: Auf der oberen Fläche des Hebels $h h_1$ ist eine kleine Feder von Neusilber angebracht und auf dieser ein Platinblättchen, welches an der Platinspitze der Schraube s anliegt. Indem nun der Anker angezogen wird und der Hebel sich in Bewegung setzt, wird der Strom noch nicht sogleich unterbrochen, sondern erst etwas später, wenn der Kopf des Schräubchens s_1 die Neusilberfeder erfasst hat und von der Schraube s abreisst. Durch diesen längeren Schluss des Stromes hat der Electromagnet Zeit, seinen vollen Magnetismus zu erlangen und kräftig anziehend auf den Anker zu wirken. Der Platincontact hat den Zweck, die zerstörende Wirkung, welche der bei der Oeffnung

entstehende Funke auf die Contactstelle ausübt, möglichst zu verringern.

§. 56. Soll dieser Hammer mit einem Inductionsapparat verbunden werden, so schaltet man die primäre Rolle zwischen der die Schraube s tragenden Säule und dem Electromagneten ein. Indem dann durch das Spiel des Hammers der Strom in der primären Rolle fortwährend geschlossen und unterbrochen wird, entstehen in der secundären Rolle die abwechselnd gerichteten Inductionsströme. Es ist Neeff's Verdienst, diesen Hammer mit dem Inductionsapparat zuerst verbunden zu haben. Seitdem sind alle Inductionsapparate nach dem Muster des Neeff'schen gebaut worden, und es wird daher genügen, einen derselben u. z. den vollkommensten zu beschreiben, nämlich du Bois-Reymond's Schlittenmagnetelectromotor, so genannt, weil die Erregung der Ströme durch die inducirende Wirkung des magnetisirten Drahtbündels geschieht, und weil die secundäre Spirale auf einem Schlitten beweglich ist, um durch die verschiedene Entfernung derselben von der primären die Stärke der Ströme abstufen zu können.

Der Apparat von du Bois ist in Fig. 41. (auf folg. S.) abgebildet. Der Strom der Kette tritt durch die Säule g in eine Neusilberfeder, welche hier den Hebel h h_1 des Hammers Fig. 40. vertritt. Sie ist so gebogen, dass ein auf ihrer oberen Fläche aufgelöthetes Platinblättchen an der Platinspitze der Schraube f anliegt. Von f geht der Strom durch den Messingklotz e und die Klemme d zur primären Spirale c, durchläuft dieselbe, gelangt dann zu den Windungen des kleinen Electromagneten b, und von da durch die Klemme a zur Kette zurück. Ueber dem Electromagneten b schwebt der an der Neusilberfeder befestigte Anker h. Indem dieser von b angezogen wird, reisst er das Platinblättchen von der Schraube f ab, und öffnet den Strom; und indem hierdurch b seinen Magnetismus ver-

liert, kehrt die Feder in ihre Lage zurück und schliesst den Strom wieder. So kommt dasselbe Spiel zu Stande, wie bei

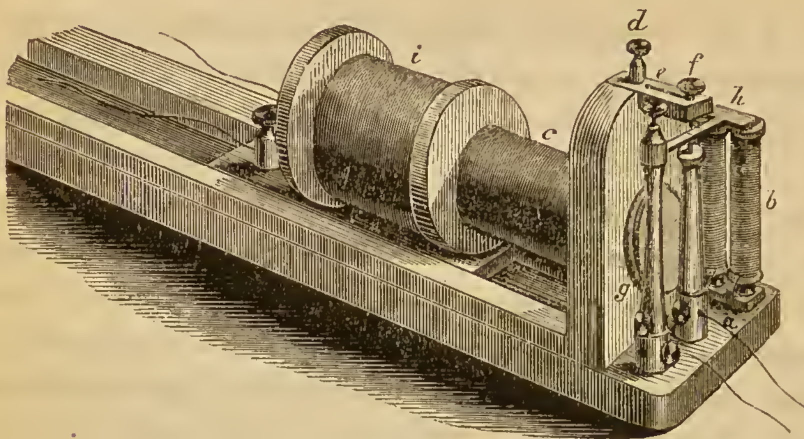


Fig. 41.

dem oben beschriebenen Hammer, und in der secundären Spirale i werden fortwährend Ströme inducirt, deren Stärke durch Verschieben der Rolle beliebig abgestuft werden kann.

Um die bedeutende Ungleichheit in der Wirkung der Schliessungs- und Oeffnungsinductionsströme zu vermeiden (s. §. 54.) hat Helmholtz eine sinnreiche Modification an dem Magnetelectromotor angebracht. Schraubt man nämlich die Schraube s an dem in Fig. 40. dargestellten Hammer so hoch, dass das Platinblättchen des Hebels $h h_1$ ihr nicht mehr anliegt, und bringt zwischen der Säule A und dem Anfange der primären Spirale eine Verbindung durch einen Draht an, so geht der Strom durch die primäre Rolle und um den Electromagneten; dieser zieht den Anker an und würde ihn dauernd angezogen halten. Schraubt man jedoch die Spitze i so in die Höhe, dass sie bei der Abwärtsbewegung des Hebels $h h_1$ ein an der unteren Seite desselben befindliches Platinblättchen berührt, so ist jetzt eine Leitung hergestellt vom positiven Pol der Kette durch die Säule A, den Hebel $h h_1$, die Spitze i und die negative Säule B zum negativen Pol der Kette, und

da diese Nebenschliessung einen sehr geringen Widerstand hat, so wird der Strom in der primären Spirale und um den Electromagneten fast Null, der Electromagnet lässt den Anker los, der Hebel wird durch die Spiralfeder gehoben und die Nebenschliessung unterbrochen. Dadurch erlangt der Strom in der primären Rolle wieder seine frühere Stärke, der Electromagnet zieht den Anker wieder an u. s. f. Man sieht also, dass der Apparat ganz ebenso spielt, wie bei der früheren Anordnung. Da aber die primäre Spirale stets zum Kreise geschlossen bleibt, so kann sich in ihr der Extrastrom stets entwickeln, die beiden in der secundären Spirale entstehenden Inductionsströme werden also beide verzögert und sind daher in ihren Wirkungen mehr gleich.

Fig. 42 stellt die Unterbrechungsvorrichtung des Magnetelectromotors mit der Helmholtz'schen Anordnung und ihre Verbindung mit der Inductionsspirale dar, wie sie jetzt an

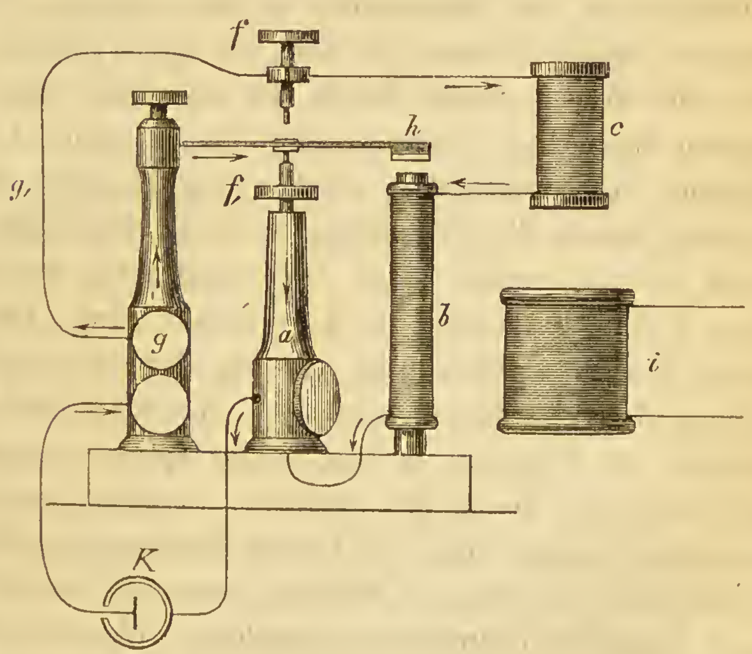


Fig. 42.

den Du-Bois'schen Schlittenmagnetelectromotoren angebracht zu werden pflegen. Der Strom der Kette tritt in die die vibrirende Feder tragende Säule ein, geht dann durch den Draht g, und die Schraube f zur primären Spirale c, sodann durch die Windungen des Electromagneten b und kehrt über die Säule a zur Kette zurück. Wird nun der Anker h angezogen und berührt in Folge dessen die an seiner unteren Fläche angebrachte Platinplatte die Spitze der Schraube f, so ist die kurze Leitung von g durch die Feder nach a geschlossen, der Strom wird in c und b sehr schwach und der Anker wird wieder nach oben geführt u. s. f.

Die solcher Gestalt in der secundären Spirale i inducirten Ströme unterscheiden sich von der auf gewöhnliche Weise erzeugten durch zweierlei Umstände. Erstlich sind sie absolut schwächer, denn da auch bei dem Schluss der durch die Neusilberfeder gebildeten Nebenschliessung noch immer ein Rest von Strom in der primären Spirale zurückbleibt, so gehen die Schwankungen der Stromstärke in der primären Spirale zwischen engeren Grenzen vor sich; von diesen Grenzen aber hängt die absolute Stärke der in der secundären Spirale inducirten Ströme ab. Zweitens aber können sowohl bei der Abnahme der Stromstärke, als bei ihrer Zunahme in der primären Spirale die Extraströme in dieser sich bilden, wodurch, wie wir gesehen haben, der Verlauf der in der secundären Spirale inducirten Ströme verzögert wird. Das Genauere über dieses Verhältniss stellt Fig. 43 nach einer Untersuchung du Bois-Reymonds dar. Wir sehen hier übereinander die Vorgänge in den beiden Spiralen dargestellt, und zwar oben die in der primären, darunter die in der secundären Spirale, links die bei der Schliessung (beziehlich Verstärkung) des primären Stromes, rechts die bei der Oeffnung (beziehlich Schwächung) desselben. Wenn der Strom in der primären Spirale geschlossen ist, so hat er eine Stärke,

welche von der electromotorischen Kraft der Kette und den im Kreise vorhandenen Widerständen abhängt, und welche

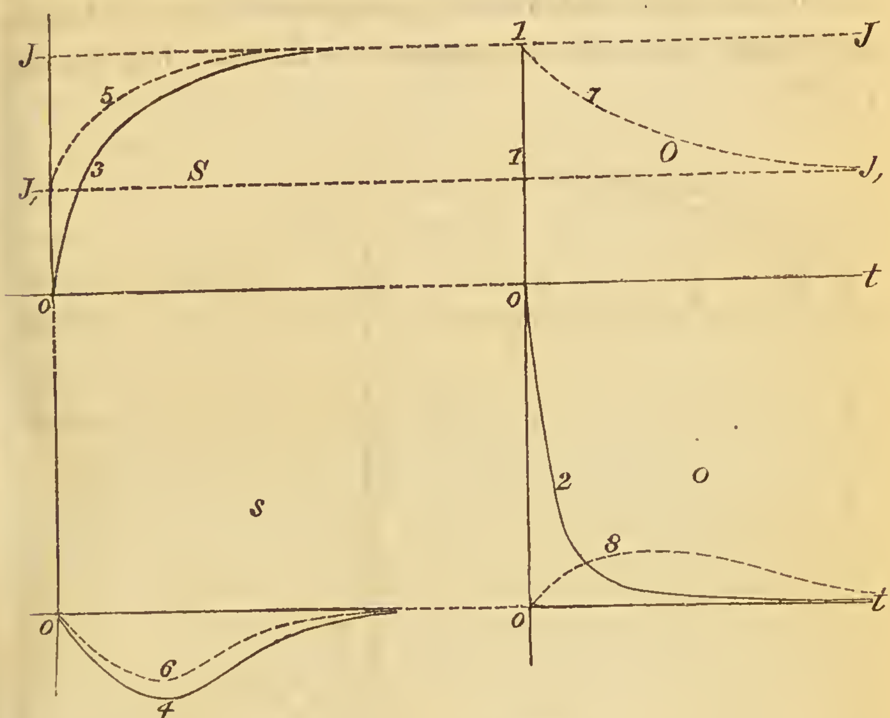


Fig. 43.

durch die Länge der Linie 0J dargestellt wird. So lange der Strom geschlossen bleibt, ist diese Stärke constant, was die gestrichelte Linie JJ andeutet. Wird aber der Strom unterbrochen, so fällt die Stromstärke von dem Werthe J plötzlich auf 0, wie die Linie 1 zeigt. Diesem Abfall des Stromes entspricht in der secundären Spirale ein Inductionsstrom, dessen zeitlichen Verlauf die Curve 2 darstellt. Die Intensität dieses Inductionsstromes steigt plötzlich zu einer beträchtlichen Höhe an, um sofort wieder zu sinken. Bei der Schliessung des primären Stromes steigt dessen Intensität von 0 bis dem Werthe J, aber nicht plötzlich, sondern des Extrastromes wegen, ganz allmählich, wie die Curve 3 darstellt. Diesem Vorgange entsprechend entsteht in der secundären

Spirale ein langsam anwachsender und ebenso langsam abnehmender Inductionsstrom, dessen Verlauf in Curve 4 dargestellt ist, deren nach abwärts gerichtete Ordinaten andeuten, dass dieser Strom die entgegengesetzte Richtung hat, wie der primäre.

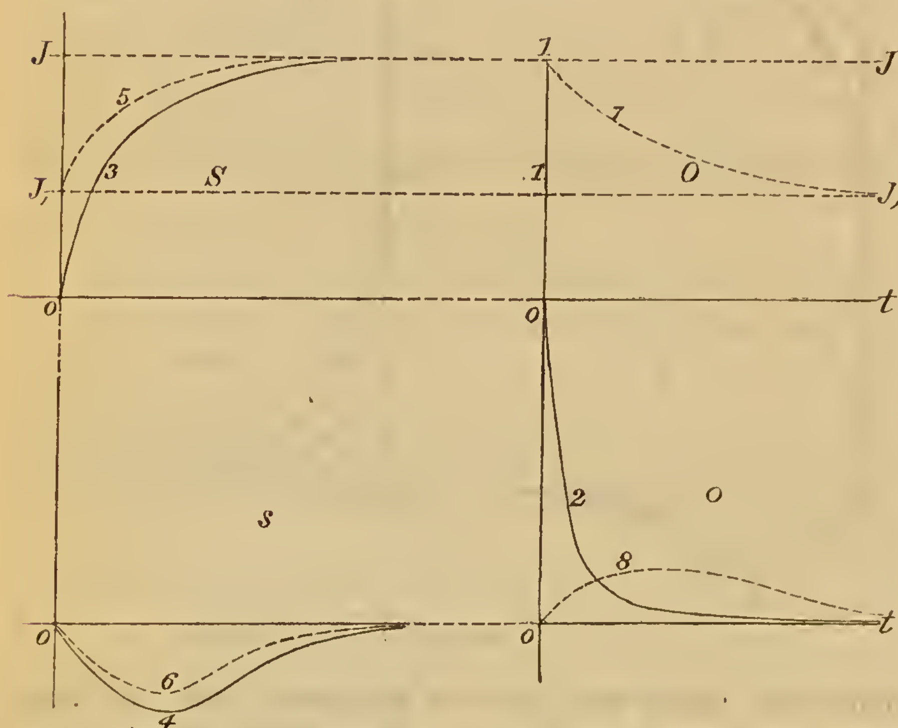


Fig. 44.

Wird der primäre Strom gar nicht unterbrochen, sondern statt dessen die Nebenschliessung geöffnet und geschlossen, so gehen die Schwankungen der Stromstärke in der primären Rolle nicht mehr zwischen den Grenzen 0 und J, sondern zwischen J_1 und J vor sich. Curve 5 stellt das Anwachsen des primären Stromes bei Oeffnung der Nebenschliessung vor. Ihm entspricht in der secundären Spirale ein Inductionsstrom, wie ihn Curve 6 darstellt. Er ist von dem durch Curve 4 dargestellten nur in der Intensität verschieden. Dahingegen unterscheidet sich der Vorgang bei

Schliessung der Nebenschliessung nicht blos der Stärke nach, sondern auch im Verlauf ganz wesentlich von demjenigen, welcher bei der Oeffnung des primären Kreises stattfand. Im ersteren Falle nämlich, das heisst wenn die Nebenschliessung geschlossen wird, fällt der Strom in der primären Spirale, da der Extrastrom sich bilden kann, ganz allmählich ab, wie Curve 7 zeigt, und demgemäss ist der Verlauf des Inductionsstromes in der secundären Spirale, wie es Curve 8 zeigt, ein ganz allmählicher, und dieser erlangt niemals eine so grosse Intensität, als dies bei dem durch Oeffnung des primären Kreises erzeugten Inductionsstrom der Fall war. Er ist dem Inductionsstrom 6 fast ganz gleich.

Absolut gleich werden die beiden Inductionsströme nicht; da nämlich der Widerstand der Neusilberfeder sehr klein ist im Vergleich zu dem der Kette, so wird der Extrastrom, welcher bei der Schliessung der Nebenschliessung, wenn die Feder die Spitze f berührt, entsteht, etwas stärker, also der in der secundären Rolle entstehende Inductionsstrom etwas schwächer, als der andere. Nur wenn der Widerstand der primären Rolle sehr gross wäre, so dass der Widerstand der Kette und der Feder gegen ihn als unendlich klein angesehen werden könnten, würde man absolute Gleichheit erzielen.

Die Ungleichheit im Verlaufe des Schliessungs- und Oeffnungs-Inductionsstromes bringt es mit sich, dass der letztere weit eher Anlass zu unipolaren Erregungen giebt, als der erstere. Denn bei dem Oeffnungsschlage erreicht die Intensität, und mit ihr naturgemäss auch die freie Spannungselectricität, eben viel höhere Werthe, als dies bei dem Schliessungsschlag möglich ist. Aus demselben Grunde wird auch die Möglichkeit unipolarer Erregung bei Anwendung der Helmholtz'schen Modification sehr viel geringer, da bei dieser, wie wir gesehen haben, beide Inductionsströme einen sehr allmählichen Verlauf nehmen, während dessen die Intensität nicht so hoch ansteigt, als bei dem gewöhnlichen Oeffnungs-Inductionsschlag. Selbstverständlich aber können auch die Schliessungs-Inductionsschläge, sowie die bei Anwendung

der Helmholtz'schen Modification entstehenden zu unipolaren Erregungen Anlass geben, wenn der Strom der primären Spirale sehr stark, und die Bedingungen der unipolaren Abgleichung günstig sind.

§. 57. Auch für therapeutische Zwecke sind die du Bois'schen Schlittenapparate die besten, doch baut man sie zu diesem Behuf grösser, während der Schlitten nicht so lang zu sein braucht. Auch pflegt man den ganzen Apparat in einen Kasten einzuschliessen, um ihn leichter transportiren zu können. Die meisten Schriftsteller über Electrotherapie haben es für ihre Pflicht gehalten, irgend eine unwesentliche Modification an dem Apparat vorzunehmen, welche alle zu beschreiben zu weit führen würde.

Die durch Stahlmagnete inducirten Ströme wurden früher fast ausschliesslich zu therapeutischen Zwecken verwandt. Einen Apparat, der solche Ströme liefert, stellt Fig. 45 dar. Vor den Polen des starken Hufeisenmagneten NS werden zwei Cylinder von weichem Eisen, die so genannten Kerne, welche auf einer gemeinschaftlichen Platte von weichem Eisen festgeschroben sind, mit Hülfe einer Kurbel in schnelle Rotation versetzt. Auf jeden Kern schiebt man eine Inductionsrolle. Indem man nun die Kurbel dreht, werden in beiden Rollen Ströme inducirt. Denn die Rollen nähern und entfernen sich abwechselnd von den betreffenden Magnetpolen. Es ist aber die Richtung der inducirten Ströme in der einen Rolle stets entgegengesetzt, als in der

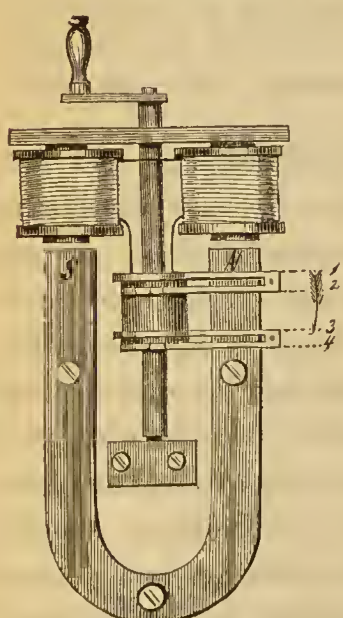


Fig. 45.

anderen und in jeder einzelnen Rolle während der einen Hälfte der Umdrehung entgegengesetzt, als während der anderen. Denn bei der einen Hälfte der Umdrehung entfernt sich die eine Rolle von dem Nordpol und nähert sich dem Südpol, bei der anderen Hälfte der Umdrehung ist es gerade umgekehrt. Die andere Rolle aber befindet sich stets in entgegengesetzter Phase. Indem man nun die beiden Rollen passend mit einander verbindet, kann man machen, dass die Ströme beider in gleicher Richtung durch einen zwischen ihnen eingeschalteten Leiter sich ergiessen. Indem man ferner diese Ableitung so anordnet, dass die Richtung der Ströme gerade in dem Moment umgekehrt wird, wo die Rollen vor den Polen vorbeigehen, bewirkt man, dass die Richtung der Ströme in dem zwischen den Rollen eingeschalteten Körper stets dieselbe bleibt. Solche Vorrichtungen nennt man Commutatoren. Der gebräuchlichste Commutator, der Stöhrer'sche, hat folgende Einrichtung: Auf der Axe, um welche sich die Inductionsspiralen drehen, sind vier Kämme 1, 2, 3, 4, Fig. 46 befestigt, von denen je zwei, nämlich 1 und 4, 2 und 3 mit einander in leitender Verbindung stehen, von den anderen jedoch isolirt sind. Es ist nämlich auf die Axe nn zuerst das Rohr

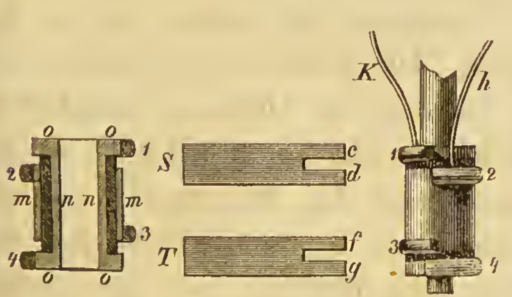


Fig. 46.

0000 geschoben, welches die Kämme 1 und 4 trägt, und dann auf dieses, von ihm durch Siegellack gut isolirt, das Rohr mm mit den Kämmen 2 und 3. Mit jedem dieser Kammpaare ist ein Ende der Inductionsspiralen leitend verbunden. Die Kämme sind etwas mehr als halbkreisförmig und abwechselnd gestellt, so dass sie mit ihren Enden ein

wenig übereinander greifen. Zwei Federn S und T, welche vorn gespalten sind, schleifen auf den Kämmen. In der Figur sind sie etwas abgerückt. Denken wir uns die Federn angelegt, so schleift der Zahn e der Feder S auf dem Kamme 1, und der Zahn f der Feder T auf dem Kamme 3. Würde aber der Commutator um 180° gedreht, so käme d auf 2, g auf 4 zu liegen. Es ist also beim Drehen der Axe während einer halben Umdrehung das Ende K der Inductionsspiralen mit der Feder S und das Ende h mit der Feder T verbunden, während es bei der anderen halben Umdrehung gerade umgekehrt ist. Stellt man nun die Kämme so, dass diese Umkehr der Verbindungen in dem Augenblick stattfindet, wo die Inductionsspiralen gerade vor den Polen des Magneten vorbeigehen, so bleibt die Stromesrichtung in einer zwischen S und T angebrachten Leitung stets dieselbe.

Die Stärke des Stromes, welchen ein solcher Apparat liefert, hängt ab von der Stärke des Stahlmagneten, der Beschaffenheit der Inductionsspiralen, der Geschwindigkeit ihrer Drehung und von der Entfernung, in welcher sie bei den Magnetpolen vorübergehen. Die Entfernung der Rollen von den Polen ist natürlich während der Drehung veränderlich, also auch die Stromstärke, welche am grössten ist in der Zeit, wo die Rollen gerade vor den Magnetpolen vorübergehen. Durch dieses allmähliche An- und Abschwellen der Ströme wird die physiologische Wirkung, wie wir gesehen haben, sehr verringert. Da nun die Kämme des Commutators etwas übereinander greifen, so ist gerade im Moment der grössten Stromstärke eine Verbindung zwischen den Kämmen durch die Federn hergestellt und die Inductionsrollen sind also in sich metallisch geschlossen. Der in ihnen erzeugte Inductionsstrom kann daher des geringen Widerstandes wegen eine sehr beträchtliche Stromstärke erreichen. Wenn nun in

diesem Augenblicke die metallische Schliessung unterbrochen, und die Verbindung mit dem Körper hergestellt wird, entsteht in den Rollen ein starker Extrastrom, welcher sich durch die zwischen den Federn eingeschaltete Leitung ergiesst und sehr kräftiger physiologischer Wirkungen fähig ist.

Der Vortheil dieser Apparate, welche man Saxton'sche Maschienen (da sich Saxton viel Verdienste um ihre Verbesserung erworben hat) oder auch magneto-electrische Rotationsapparate nennt, besteht darin, dass sie jeder Zeit zum Gebrauch bereit sind, während die Magnetelectromotoren immer erst eines galvanischen Elementes bedürfen. Dieser Vortheil wird jedoch mehr als aufgewogen durch die Uebelstände, dass man erstens stets eines Gehülfen bedarf, um den Apparat in Gang zu setzen, und zweitens die Abstufung in der Stärke der Ströme nur mangelhaft ist. Sie geschieht dadurch, dass man die Rollen mehr oder weniger nahe den Magnetpolen rotiren lässt, oder die Pole des Magneten durch einen Anker verbindet, wodurch man seine inducirende Wirkung bedeutend schwächt und zwar um so mehr, je näher den Enden man den Anker auflegt.

In neuerer Zeit haben diese Apparate bedeutende Verbesserungen durch Siemens erfahren, welche sie für technische, insbesondere telegraphische Zwecke sehr brauchbar macht, aber auch für die medizinische Anwendung vortheilhaft wäre. Sie zeichnen sich besonders durch eine vortheilhafte Construction des mit Draht umwickelten Ankers und seine Anbringung zwischen den Polen des Hufeisenmagneten aus. Besonders interessant sind aber die von Siemens erfundenen sogenannten dynamo-electrischen Maschienen. In ihnen sind die Stahlmagnete ganz fortgelassen und durch Electromagnete ersetzt. Leitet man durch die Windungen der letzteren für kurze Zeit einen Strom, so bleibt in dem weichen Eisen ein schwacher Magnetismus zurück. Durch diesen wird in den Drahtwindungen des Ankers bei der Drehung des letzteren ein schwacher Strom inducirt. Indem man diesen durch einen Commutator gleichrichtet und dann durch die Windun-

gen des Electromagneten leitet, wird der Magnetismus des letzteren verstärkt. Dadurch wächst aber wieder die Stärke der inducirten Ströme und in Folge dessen wieder der Magnetismus u. s. f., bis das Eisen des Electromagneten bis zur Sättigung magnetisirt ist. Auf diese Weise kann man mit sehr kleinen Apparaten sehr heftige Wirkungen hervorrufen. Sollen diese Wirkungen physiologische sein, so bedient man sich desselben Mittels, welches oben bei der Saxton'schen Maschiene angegeben wurde. Man schliesst die Ströme des Apparates durch eine kurze Leitung in sich selbst, welche plötzlich unterbrochen wird, so dass der bis dahin als Nebenschliessung eingeschaltete Körper von dem heftigen Extrastrome getroffen wird.

Capitel IX.

Von der Einrichtung und dem Gebrauch des Multiplicators.

§. 58. Wir haben schon oben §. 20 gesehen, auf welche Weise man die Wirkung des electrischen Stromes auf die Magnetnadel benutzen kann, um das Vorhandensein eines Stromes und seine Richtung zu bestimmen, haben auch in der Tangentenbussole ein Instrument kennen gelernt, um mit Hilfe dieser Ablenkung die Stromstärke zu messen. Wir wollen uns nun genauer mit der Einrichtung solcher Instrumente beschäftigen, welche besonders zum Erkennen sehr schwacher Ströme geeignet, und die Regeln besprechen, welche bei ihrer Handhabung zu beachten sind.

Die Empfindlichkeit eines Multiplicators kann sehr gesteigert werden durch Vermehrung seiner Windungszahl, so lange nur die äussersten Windungen nicht allzuweit von der Nadel entfernt sind, damit sie noch eine merkiche Wirkung ausüben können. Man nimmt daher zu den Multiplicatoren sehr dünnen Draht, um recht viele Windungen auf einen kleinen Raum bringen zu können. Die neueren zu physiologischen Zwecken gebrauchten Multiplicatoren haben an 30000 Windungen und mehr. Solche Multiplicatoren bieten natürlich dem Strom einen beträchtlichen Widerstand; wenn jedoch,

wie wir dies bei unseren Betrachtungen voraussetzen, thierische Theile im Kreise sind, so schadet dies Nichts. Denn da die thierischen Theile schon einen bedeutenden Widerstand haben, so wird die Stromstärke durch den Widerstand des Multiplicators nicht so viel herabgesetzt, um den Vortheil aufzuheben, welchen man durch Vermehrung der Windungen erreicht.

Um jedoch, falls es nöthig sein sollte, mit einem Drahte von geringerem Widerstand arbeiten zu können, windet man nicht die ganze Länge des Drahtes hintereinander auf, sondern man legt den Draht doppelt und windet ihn dann auf, wodurch man also zwei genau neben einander herlaufende Drahtlängen erhält. Gesetzt, der Multiplicator hätte 15000 solcher Doppelwindungen. Die vier Enden dieser beiden Drähte wollen wir mit A, E, a, e bezeichnen. Schliesst man den Kreis zwischen A und E, so hat man also einen Multiplicator von 15000 Windungen. Der daneben laufende Draht mit den Enden a, e bleibt dann unbenutzt. Verbindet man E mit a, und schliesst den Kreis zwischen A und e, so muss der Strom beide Windungen nach einander durchlaufen, man hat also einen Multiplicator von 30000 Windungen. Verbindet man endlich A und a einerseits, E und e andererseits mit einander und schliesst den Kreis zwischen diesen, so theilt sich der Strom gleichmässig zwischen die beiden Windungen, man hat also jetzt einen Multiplicator von 15000 Windungen und dem doppelten Querschnitt des Drahtes, also halb so grossem Widerstand, als wenn man nur einen Draht anwendet, und viermal geringeren Widerstand, als wenn man die zweite Anordnung trifft. Endlich kann man noch zwei Ströme durch die beiden Windungen in entgegengesetzte Richtungen leiten, und hat dann ein sog. Differentialgalvanometer, wie es z. B. in dem in Fig. 38 schematisch dargestellten Versuche von Edlund angewandt ist.

§. 59. Wenn ein Strom auf eine Magnetnadel wirkt, so nimmt die Nadel eine Stellung ein, welche die Resultirende ist aus der Wirkung des Stromes und der Wirkung des Erdmagnetismus. Wäre es also möglich, die Wirkung des Erdmagnetismus aufzuheben, oder wenigstens bedeutend zu verringern, so müsste die Empfindlichkeit des Multiplicators in demselben Maasse wachsen. Dies ist nun in der That möglich. Verbindet man nämlich zwei gleich starke Magnetnadeln so mit einander, dass ihre gleichnamigen Pole nach entgegengesetzten Richtungen gekehrt sind, so kann der Erdmagnetismus gar keine Richtkraft auf dieselben ausüben. Ein solches Nadelpaar nennt man daher ein astatisches, weil es in Folge des Erdmagnetismus keine stabile Gleichgewichtslage hat. Hängt man nun ein solches Nadelpaar so in ein Multiplicatorgewinde ein, dass die eine Nadel oberhalb, die andere innerhalb der Windungen hängt, so werden beide Nadeln durch den Strom in gleichem Sinne abgelenkt, wie dies nach der Ampère'schen Regel leicht einzusehen ist. Ein solcher Multiplicator muss also eine ganz ungemeine Empfindlichkeit haben. Es ist Nobili's Verdienst, diese bedeutende Verbesserung an den Multiplicatoren angebracht zu haben.

§. 60. Es ist nicht leicht, zwei Nadeln so zu streichen, dass sie genau gleich magnetisch werden. Fügt man daher zwei Nadeln zusammen, so wird gewöhnlich die eine das Uebergewicht haben, und das System wird sich daher in dem Meridian einstellen und wird, wenn man es daraus ablenkt, nach mehr oder weniger zahlreichen Schwingungen in denselben zurückkehren. Je mehr die eine Nadel die andere überwiegt, um so stärker wird die Richtkraft, welche das System noch hat, um so schneller wird es daher schwingen, wenn man es aus dem Meridian abgelenkt hat. Streicht man nun diejenige Nadel, welche sich als die stärkere erweist

(welche die Richtung des ganzen Systems bestimmt) vorsichtig mit dem gleichnamigen Pol eines sehr schwachen Magneten, um sie zu schwächen, und so der anderen gleich zu machen, so wird die Schwingungsdauer immer grösser werden, je mehr man sich der wirklichen Astasie des Systems nähert. Man wird aber dann meist finden, dass die Nadeln jetzt nicht mehr im Meridian bleiben, und wenn man die Nadeln so gleich gemacht hat, als nur irgend möglich, so werden sie nicht in jeder beliebigen Lage im Gleichgewicht sein, sondern sie werden sich senkrecht auf den Meridian stellen. Der Grund dieser Erscheinung, welche man die freiwillige Ablenkung astatischer Nadelpaare nennt, ist folgender:

Wenn man zwei Nadeln mittelst eines Stückes Metall, Schildpatt oder aus sonst einem Material zu einem astatischen System verbindet, so ist es sehr schwer, sie absolut parallel zu stellen, oder wenn sie parallel sind, sie in dieser Lage zu erhalten. Gesetzt nun, die verticalen Ebenen, welche man durch die beiden Nadeln legt, machten einen Winkel α miteinander, welcher natürlich sehr klein ist. Die Nadel NS Fig. 47 sei gegen den Meridian um den Winkel φ geneigt, also die Nadel NS um den Winkel $\varphi-\alpha$; ferner sei die Kraft, womit der Erdmagnetismus auf die Nadeln wirkt, gleich T, so wirkt auf den Nordpol n die Kraft T . sin $(\varphi-\alpha)$ und auf dem Südpol S die entgegengesetzt gerichtete Kraft T . sin φ. Das System wird daher im Sinne dieser letzteren Kraft gedreht. Gelangt nun das System in eine Lage, wo die Halbirungslinie des Winkels α

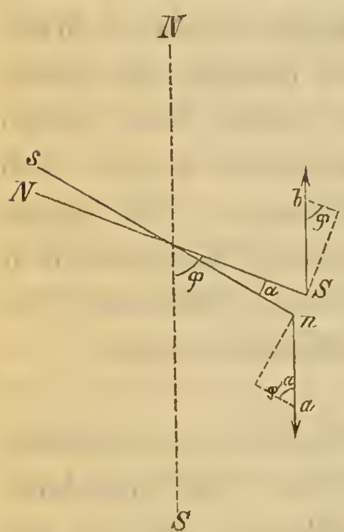


Fig. 47.

auf dem Meridian senkrecht steht, so sind die beiden in entgegengesetzter Richtung auf dasselbe wirkenden Kräfte beziehlich

$$= T \,.\, \sin\left(R - \frac{\alpha}{2}\right) \text{ und } T \,.\, \sin\left(R + \frac{\alpha}{2}\right)$$

und da diese beiden Werthe einander gleich sind, so steht das System in stabilem Gleichgewicht. Da nun aber der Winkel α unmerkbar klein ist, so stehen scheinbar beide Nadeln senkrecht auf dem Meridian. Ist die Stärke der Nadeln aber nicht absolut gleich, so werden sie sich natürlich unter irgend einem anderen Winkel zum Meridian einstellen, wo die auf dieselben vom Erdmagnetismus ausgeübten Kräfte sich das Gleichgewicht halten.

§. 61. Dieser Umstand würde nun dem Gebrauch astatischer Nadelpaare keinen Eintrag thun. Man brauchte ja nur die freiwillige Ablenkung des Systems zu bestimmen, dann dem Multiplicator eine solche Stellung zu geben, dass seine Windungen denselben Winkel mit dem Meridian machen und das Nadelpaar in den Multiplicator einzuhängen. Versucht man dies aber, so findet man, dass die Nadeln innerhalb des Multiplicators nicht mehr dieselbe Lage einnehmen, als ausserhalb desselben. Im Gegentheil zeigt sich, dass wenn die Multiplicatorwindungen genau denselben Winkel mit dem Meridian machen, als die freiwillige Ablenkung beträgt, dass dann die Nadeln sich in dieser Richtung, wo sie parallel den Windungen sind, und die obere Nadel über dem Nullpunkt der am Multiplicator angebrachten Theilung schwebt, nicht einstellen lassen, sondern dass jederseits vom Nullpunct eine s t a b i l e G l e i c h g e w i c h t s l a g e existirt, welcher die Nadeln sogleich zueilen und auf welcher sie sich immer wieder einstellen, wenn sie auch aus derselben entfernt werden. Diese stabilen Gleichgewichtslagen entsprechen mehr oder weniger

genau den Diagonalen des rechteckigen Multiplicator-Gewindes.

Die Ursache dieser Erscheinung, welche man die Ablenkung durch die Drahtmassen nennt, ist zu suchen in den magnetischen Wirkungen des Kupferdrahtes, aus welchem der Multiplicator gewunden ist. Fast alles Kupfer enthält ein wenig Eisen. Chemisch reines Kupfer kann man allerdings durch galvanisches Niederschlagen aus reinen Lösungen von Kupfersalzen erhalten, doch lässt sich dieses nicht zu so feinen Drähten ausziehen, als man zu Multiplicatoren braucht. Wenn nun die Nadeln in den Multiplicator eingehängt werden, so induciren sie in dem Kupferdraht Magnetismus. Da nun der Multiplicator aus zwei seitlichen Hälften besteht, welche durch einen mittleren Spalt getrennt sind (um die Nadeln einzuhängen), so ist der in den beiden Hälften inducirte Magnetismus nahezu gleich, wenn die Nadeln in der Mitte stehen; sie befinden sich hier in labilem Gleichgewicht. Werden die Nadeln aber abgelenkt, so ist der von jedem Pol auf der entsprechenden Seite inducirte Magnetismus stärker und die Nadeln begeben sich in die Richtung der Diagonale, wo sie über der grössesten Länge der Kupfermasse stehen und daher am stärksten angezogen werden.

Ein solcher Multiplicator würde natürlich völlig unbrauchbar sein, wenn man nicht ein Mittel besässe, die Ablenkung durch die Drahtmassen zu compensiren. Dieses geschieht dadurch, dass man in der Nähe des Nullpunctes einen kleinen ganz schwachen Magneten (die abgebrochene Spitze einer feinen magnetisirten Nähnadel) so aufstellt, dass er den zugewandten Pol der oberen Nadel anzieht. Man dreht daher das Multiplicatorgewinde so, dass man den Nullpunkt der Theilung den Nadeln nähert. Dann kommt zuletzt ein Punct, wo die Richtkraft der Erde und die Ablenkung durch die Drahtmassen einander gerade das Gleichgewicht halten und

dann sind die Nadeln auf der Nulllinie in labilem Gleichgewicht. Bringt man nun den kleinen Compensationsmagneten an, so kann man es so einrichten, dass er gerade genügt, um die Ablenkung durch die Drahtmassen aufzuheben und die Nadeln auf der Nulllinie in stabilem Gleichgewicht zu halten, ohne dass der Multiplicator merklich von seiner Empfindlichkeit einbüsst.

§. 62. Ein vollständiger, mit Berücksichtigung aller dieser Momente gebauter Multiplicator, wie er zu physiologischen Zwecken gebraucht wird, hat daher folgende Einrichtung: Eine starke Metallplatte a Fig. 48 kann mittelst dreier Schrauben horizontal gestellt werden. Sie trägt auf ihrem oberen Rande eine Gradtheilung. Auf ihr ist die Metallbüchse b drehbar mit Hülfe der Schraube ohne Ende g. Diese Büchse trägt den aus Buchsbaumholz geschnitzten Rahmen C, auf welchem der Draht aufgewunden ist. Der Draht ist sorgfältig mit Seide besponnen und jede Lage noch besonders durch Firnissung isolirt. Die vier Drahtenden sind mit Klemmen verbunden, welche mit den Buchstaben A, a, E, e bezeichnet sind.

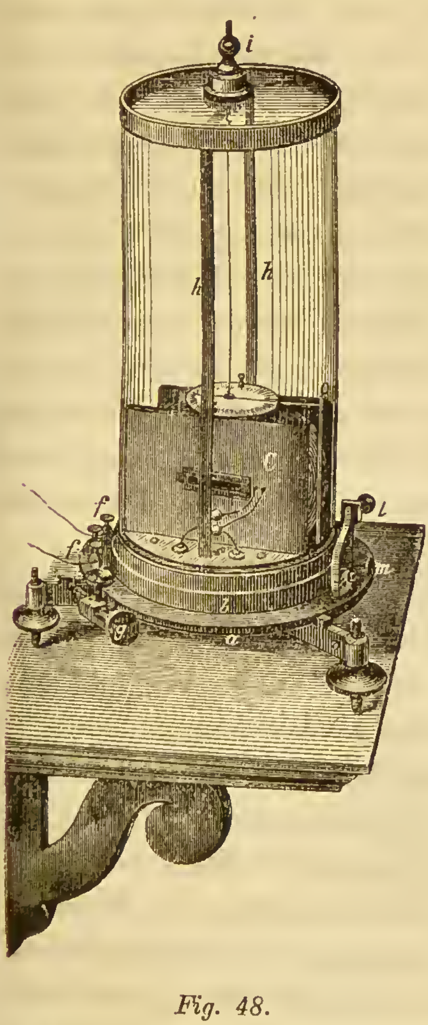


Fig. 48.

Oben auf dem Rahmen ist eine Theilung befestigt, über welcher die obere Nadel schwebt; die Nulllinie der Theilung ist

den Drahtwindungen parallel. Das astatische Nadelpaar hängt mittels eines feinen Häkchens an einem einfachen Seidenfaden, welcher oben an einen Haken befestigt ist. Dieser wird von dem Bügel hh getragen, und kann durch drei Schräubchen centrirt, d. h. so gestellt werden, dass der die Nadeln tragende Faden gerade durch den Mittelpunct der Theilung geht. An dem einen Nullpunct der Theilung ist ein galgenförmiges Messinggestelle o angebracht, welches durch die Schrauben l, m seitlich verrückt, so wie entfernt und genähert werden kann und welches an seinem Ende das Magnetsplitterchen zum Compensiren der Ablenkung durch die Drahtmassen trägt. Endlich sind an den 90°puncten noch kleine Knöpfe angebracht, welche kleine, vorspringende, sehr dünne Glimmerblättchen tragen, an welchen sich die obere Nadel fängt, sobald die Ablenkung 90° beträgt, Diese „Hemmung“ ist nothwendig, damit nicht bei starken Strömen eine Umkehr der Nadeln erfolgt. Um die Nadeln so viel als möglich vor Luftströmungen und Staub zu schützen, sind die seitlichen Oeffnungen des Rahmens durch Glasstreifen geschlossen, und der ganze Multiplicator mit einer Glasglocke bedeckt, welche auf der Büchse aufruht.

Man stellt den Multiplicator, um ihn vor Erschütterung zu bewahren, auf einem festen Consol auf, welches ohne Eisen an der Wand befestigt ist. Die vier Klemmen A, a, E, e, welche die Enden des Multiplicatordrahts vorstellen, verbindet man ein für alle Mal mit in der Wand befestigten Klemmen, durch Drähte, welche lang genug sind, um die Drehung des Multiplicator zu gestatten. An jenen in der Wand befestigten Klemmen bringt man die Drähte an, welche den Strom zuleiten sollen, und an ihnen macht man die Manipulationen, welche nöthig sind, wenn man die halbe oder ganze Multiplicatorlänge benutzen oder die Stromesrichtung umkehren will, damit am Multiplicator selbst gar nicht gezerrt werde.

Man prüft sodann, in welcher Richtung die Nadeln durch den Strom einer kleinen Kette abgelenkt werden, um später aus der Ablenkung sogleich die Richtung eines zu prüfenden Stromes zu erkennen.

§. 63. So hergerichtet ist der Multiplicator zum Gebrauch bereit. Will man nun mittelst desselben prüfen, ob in irgend einem Körper oder einer Combination von Körpern electromotorische Kräfte ihren Sitz haben, so kommt es vor allen Dingen darauf an, die Verbindung des Multiplicators mit dem zu prüfenden Körper auf eine Weise herzustellen, welche selbst keine Ursache zur Erzeugung electrischer Ströme abgiebt. Will man z. B. prüfen, ob in einem Stücke Muskel, Nerv oder sonstigen thierischen oder pflanzlichen Körper electromotorischen Kräfte existiren, so genügt es nicht, zwei Metalldrähte mit den Multiplicatorenden zu verbinden und diese an den zu prüfenden Körper anzulegen. Auf diese Weise würde man immer Ströme bekommen, denn zwei Metallstücke sind selten so gleichartig, selbst wenn sie aus einem und demselben Stück geschnitten wären, dass sie nicht in Berührung mit einer und derselben Flüssigkeit ungleich erregt würden und daher Ströme lieferten, welche mehr als genügen, die Nadeln so empfindlicher Multiplicatoren an die Hemmung zu werfen. Ja sogar, wenn man zwei Metallstücke mit vieler Mühe gleichartig gemacht hat, so genügt es, dass das eine nur um einen Bruchtheil einer Secunde früher an den feuchten Leiter angelegt wird, um einen Strom zu erzeugen.

Diese Umstände machen es nothwendig, bei der Benutzung des Multiplicators zur Prüfung thierischer Theile auf ihr electromotorisches Verhalten gewisse Vorsichtsmaassregeln anzuwenden, um Täuschungen zu entgehen. Unter allen Combinationen hat sich nach den Untersuchungen von du Bois-Reymond diejenige, welche wir schon früher als unpolarisir-

bar kennen gelernt haben, amalgamirtes Zink mit Zinkvitriollösung, auch als diejenige bewährt, welche am leichtesten vollkommen gleichartig herzustellen ist. Die Prüfung eines thierischen (oder sonstigen) Körpers auf seine electromotorischen Eigenschaften geschieht daher auf folgende Weise:

Zwei kleine Gefässe, aus Zink gegossen, wie ein solches in Fig. 49 dargestellt ist, sind auf isolirenden Unterlagen befestigt, und in ihrem Innern wohl amalgamirt. Durch Klemmschrauben k werden sie mit den Enden des Multiplicatordrahtes verbunden. Aus Fliesspapier gebildete Bäusche, welche mit concentrirter Lösung von reinem schwefelsaurem Zinkvitriol getränkt sind, stecken in den Gefässen und ragen über deren Rand vor. Kleine Schilder aus einer isolirenden Substanz (vulcanisirtem Kautschuk) halten dieselben mit Hülfe von Kautschukringen in ihrer Lage fest.

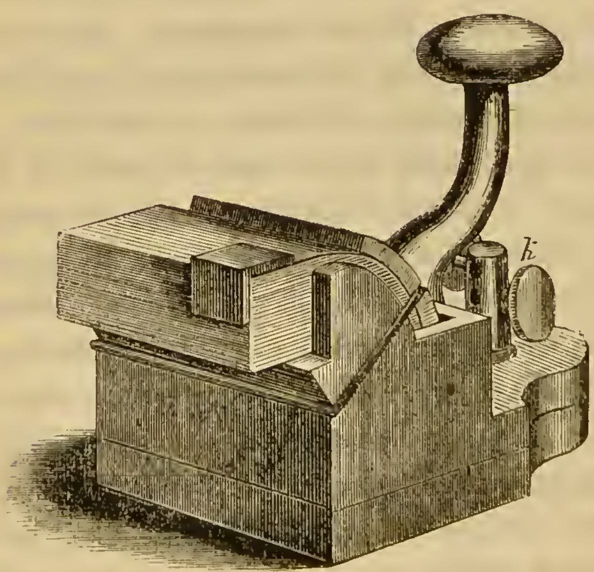


Fig. 49.

Die durch den Bausch nicht ganz ausgefüllte Höhlung der Zinkgefässe füllt man zur Verringerung des Widerstandes mit

gesättigter Lösung von Zinkvitriol. Rückt man die Gefässe bis zur Berührung der Bäusche an einander, oder überbrückt den Zwischenraum zwischen den Bäuschen mit einem dritten ebenfalls mit concentrirter Zinkvitriollösung getränkten Bausch, so bleibt die Nadel des Multiplicators ganz unbewegt. In der Vorrichtung hat also keine electromotorische Kraft ihren Sitz. Bringt man jetzt an Stelle des dritten Bausches den zu untersuchenden Körper, und erhält eine Ablenkung der Nadel, so muss der hierdurch angezeigte Strom seine Ursache in jenem Körper haben. Statt dieser Ableitungsgefässe kann man auch die in Fig. 13 abgebildeten unpolarisirbaren Electroden anwenden und zwar geschieht dies mit Vortheil da, wo es auf die Ableitung von möglichst punctförmigen Theilen ankommt.

§. 64. Wenn man auf diese Weise thierische Theile auf ihre electromotorischen Eigenschaften prüft, so wird man je nach der Art des Auflegens auf die Bäusche bald gar keine, bald eine geringere oder grössere Ablenkung der Nadel erhalten, vorausgesetzt, dass die geprüften Theile überhaupt electromotorische Eigenschaften besitzen. Um diese Erscheinungen richtig zu verstehen, muss man sich dessen erinnern, was im §. 47 über die Stromvertheilung in nicht prismatischen Leitern gesagt worden ist. Es sei AB ein irgendwie gestalteter Leiter und in demselben habe bei C eine electromotorische Kraft ihren Sitz. Dann wird der ganze Leiter von Stromcurven erfüllt sein, welche von C ausgehen und zu C zurückkehren. Die Richtung dieser Ströme wird bedingt sein von dem Sinne der electromotorischen Kraft. Die Stärke der Ströme wird abnehmen mit der Länge der Wege, welche sie zurückzulegen haben, also mit der Entfernung von C. Legen wir nun an die Oberfläche dieses Körpers irgendwo einen gleichartigen leitenden Bogen an, d. h. einen solchen, dessen

Berührung mit dem Körper AB nicht selbst Ursache einer Electricitätsentwickelung wird, so wird dieser Bogen jetzt ein Bestandtheil des ganzen leitenden Systems und es wird sich durch denselben ein Stromzweig ergiessen müssen, dessen Stärke von der Lage des Bogens und von seinem Widerstande abhängt. Ist dieser Bogen der Multiplicator mit den im vorhergehenden Paragraphen beschriebenen Vorrichtungen, so erhalten wir eine Ablenkung der Magnetnadel, deren Grösse im Allgemeinen variiren muss mit der Lage des Bogens an dem prüfenden Körper oder, was dasselbe ist, mit der Lage des Körpers auf den Bäuschen.

Wir haben schon im §. 46 gesehen, dass man sich jeden, irgendwie gestalteten, von Strömen durchflossenen Leiter zerlegt denken kann in ein System von gekrümmten linearen Leitern, welche alle durch den Punkt gehen, in welchem die electromotorische Kraft ihren Sitz hat. In jedem dieser linearen Leiter bewegt sich dann ein Theil der durch die electromotorische Kraft in Bewegung gesetzten Electricitäten ganz nach den Gesetzen, welche wir für verweigte Leitungen kennen gelernt haben. Denken wir uns diese linearen Leiter immer schmaler werdend, so gelangen wir zu dem System von Strömungscurven, von welchen §. 47 die Rede war. Auf einer jeden solchen Curve wird dann eine veränderliche Spannung herrschen (s. oben §. 20.), indem auf der einen Seite der electromotorischen Kraft die grösste positive Spannung sein wird, die allmählich nach der Mitte der Curven zu Null wird, dann negativ und immer stärker wird, bis an der anderen Seite der electromotorischen Kraft diese negative Spannung denselben Werth hat, als die positive auf der ersteren. Verbinden wir nun die Puncte gleicher Spannung auf allen Strömungscurven mit einander, so erhalten wir ein zweites System von Curven, welche auf den Strömungscurven senkrecht stehen, und welche wir C u r v e n g l e i c h e r S p a n n u n g

oder isoëlectrische Curven nennen wollen. Sämmtliche Spannungscurven bilden in dem Leiter ein System von mehr oder weniger gekrümmten Flächen, welche alle durch den Sitz der electromotorischen Kraft gehen, und auf deren jeder überall die gleiche Spannung herrscht. Diese Flächen gleicher Spannung oder isoëlectrische Flächen schneiden die Oberfläche des Leiters in Curven, auf deren jeder natürlich auch stets dieselbe Spannung herrscht. Die Gestalt und Lage dieser Spannungscurven hängt natürlich ab von der Gestalt des Leiters und dem Sitz der electromotorischen Kraft im Innern des Leiters. Legt man nun einen gleichartigen Bogen an die Oberfläche des Leiters an, so hängt der durch denselben sich ergiessende Stromzweig ab von der Differenz der Spannungen an den Fusspuncten des Bogens. Ist diese Differenz Null, d. h. stehen die Fusspuncte des Bogens auf einer und derselben Spannungscurve, so fliesst gar kein Strom durch den Bogen. Stehen die Fusspuncte des gleichartigen Bogens aber auf zwei verschiedenen dieser Spannungscurven, so wird sich ein Strom durch denselben ergiessen, welcher stets gerichtet ist von dem Fusspuncte, welcher auf einer Curve von grösserer positiver oder geringerer negativer Spannung aufsteht, zu dem anderen Fusspuncte des Bogens.

Verschiebt man nun den gleichartigen Bogen, ohne seine Spannweite zu ändern, über den Leiter hin, und beobachtet die Ströme im Bogen, so kann man daraus die Gestalt und Lage der Spannungscurven auf der Oberfläche des Leiters bestimmen. Welches also auch die Gestalt und Lage der isoëlectrischen Flächen sei, wo auch immer im Innern des Körpers die electromotorische Kraft ihren Sitz habe, stets wird man eine Vertheilung der Spannungen auf der Oberfläche angeben können, welche für den angelegten Bogen dasselbe leistet, d. h. in jeder Lage Ströme von gleicher Rich-

tung und gleicher Stärke bestimmt, als die electromotorische Kraft selbst. Man kann daher stets die electromotorische Kraft ersetzt denken durch eine entsprechende Vertheilung electrischer Spannungen an der Oberfläche des Leiters. Man nennt dies das Princip der electromotorischen Oberfläche.

Denken wir uns in dem leitenden Körper ausser der electromotorischen Kraft C noch eine zweite D enthalten, so wird diese ebenfalls Ströme in dem Leiter erregen, welche denselben ganz erfüllen; es wird derselben ebenfalls ein System von isoëlectrischen Flächen im Leiter und demgemäss von Spannungscurven auf der Oberfläche des Leiters entsprechen. Jeder Punct auf der Oberfläche wird dann eine Spannung annehmen, welche die algebraische Summe derjenigen Spannungen ist, welche ihm durch die Wirkung jeder einzelnen electromotorischen Kraft allein zukommen würde, und dies ist stets der Fall, wie viele und wie geordnet auch die electromotorischen Kräfte im Körper sein mögen.[1]) Welches daher auch die Zahl und die Anordnung der electromotorischen Kräfte im Innern des Körper sei, stets lässt sich statt derselben eine bestimmte Anordnung der Spannungscurven an der Oberfläche des Körpers angeben, welche dieselben Ströme im angelegten Bogen bewirkt. Das Princip der electromotorischen Oberfläche behält also auch in diesem Falle seine Gültigkeit.

§. 65. Aus dem Vorhergehenden ist klar, dass wir mit Hilfe des Multiplicators mit der grössten Schärfe die Anord-

---

[1]) Helmholtz hat diesen Satz, welchen man das Princip der Superposition electromotorischer Kräfte nennt, so wie auch den vorhergehenden von der electromotorischen Oberfläche mathematisch abgeleitet und experimentell bestätigt. S. Pogg. Ann. Bd. 89. S. 211.

nung der Spannungscurven auf der Oberfläche eines Leiters ermitteln können. Indem wir nämlich den Körper nach und nach mit den verschiedensten Puncten auf die §. 63 beschriebenen Bäusche auflegen, oder mit den Spitzen der Ableitungsröhren berühren, welche die Fusspuncte unseres gleichartigen Bogens vorstellen, erkennen wir, welche Puncte gleiche Spannung haben (denn in diesem Falle dürfen die Nadeln nicht abgelenkt werden) und welche Puncte ungleiche Spannung haben und in diesem letzteren Falle, welchem Puncte die grössere positive Spannung zukommt. Denn von diesem letzteren Puncte her muss der Strom in den Multiplicator eintreten, worüber uns ja die Richtung der Ablenkung Aufschluss giebt. Es gehört aber zur vollständigen Lösung dieses Problemes noch die Bestimmung der Grösse der Spannungsdifferenzen an den beiden berührten Punkten. Diese könnte man finden durch Messung der Stromstärke und des Widerstandes bei jeder einzelnen Lage des ableitenden Bogens. Es giebt aber ein noch einfacheres Mittel zur Bestimmung jener Differenzen, welches sich zu dem in Rede stehenden Zwecke sehr eignet, nämlich die Compensation.

Es ist nämlich klar, dass wenn man durch den Multiplicator ausser dem Stromzweig, welchen der zu prüfende Körper durch ihn schickt, noch einen anderen in entgegengesetzter Richtung leitet, und die Nadel wird nicht abgelenkt, die Stärke beider Ströme genau gleich sein muss. Da aber beide Ströme denselben Kreis zu durchlaufen, also auch denselben Widerstand zu überwinden haben, so müssen auch die electromotorischen Kräfte in beiden Fällen gleich sein. Trifft man nun die Anordnung Fig. 50, wo M den Multiplicator, K eine constante Kette, etwa ein Grove'sches oder Daniell-sches Element, RR_1 das Rheochord, W eine Wippe bedeutet, durch welche man die Richtung des Stromes nach Belieben ändern kann, und verschiebt den Schieber des Rheochords so

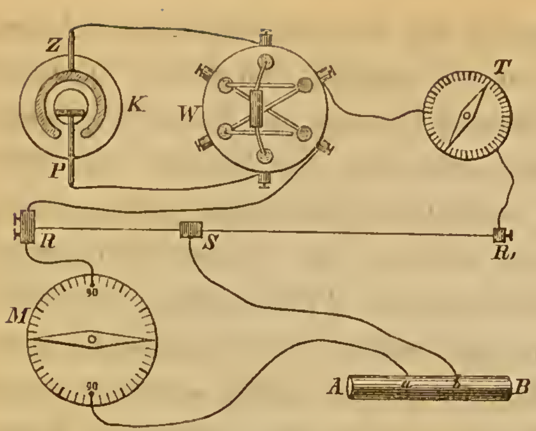


Fig. 50.

lange, bis die Nadel auf Null steht, so muss der durch die Spannungsdifferenz von a und b erzeugte Strom genau gleich sein demjenigen Stromtheil, welcher von dem Strom des Elementes sich durch den Multiplicator abzweigt.

Denken wir uns für einen Augenblick die Berührung des Rheochords mit dem ableitenden Bogen an den Punkten R und S aufgehoben. Die Rheochordseite RR stellt dann einfach einen Theil des Schliessungsbogens der Kette K vor, und auf ihm herrscht eine von Punkt zu Punkt wechselnde Spannung (vgl. §. 20). Da die Rheochordsaite ganz gleichmässig ist, so ändert sich die Spannung auf ihr auch gleichmässig, das heisst: die Differenz der Spannungen zweier Punkte der Seite ist proportional ihrer Entfernung von einander. Andererseits herrscht an den Punkten a und b des Körpers AB Spannungsdifferenz in Folge der im Inneren von AB vorhandenen electromotorischen Kräfte. Vereinigen wir nun den ableitenden Bogen wieder mit dem Rheochord in den Punkten R und S, so wirken zwei electromotorische Kräfte auf den Multiplicator M ein, die Spannungsdifferenz der Rheochordpunkte und die der Punkte a und b, und diese müssen einander gleich und entgegengesetzt gerichtet sein, wenn die Multiplicatornadel unabgelenkt bleibt. In diesem Falle können wir also die letztere Spannungsdifferenz durch die erstere messen, und da diese, wie wir eben gesehen haben, der Länge

RS direct proportional ist, so ist es auch die zu messende Spannungsdifferenz.

Bezeichnen wir die electromotorische Kraft der Kette K mit E_1, die durch die Spannungsdifferenz der Puncte a und b gegebene mit E_2 (wobei wir voraussetzen, dass $E_1 > E_2$ ist), ferner

den Widerstand des Zweiges $RWKTR_1$ mit W,
den Widerstand von RS mit w,
den Widerstand von SR_1 mit v,
den Widerstand von RMabS mit u,
den Widerstand von RR_1 mit $C = w + v$

so ist in Folge der electromotorischen Kraft E_1 die Stromstärke im Zweige RMabS (nach §. 42 Gleichung [6])

$$J = \frac{E_1 \cdot w}{(W + v)\, w + w \cdot u + (W + v) \cdot u}$$

und in Folge der electromotorischen Kraft E_2 die Stromstärke in demselben Zweige (nach §. 42. Gleich. [8])

$$J = \frac{E_2\,(W + C)}{u \cdot w + (W + v)\, w + (W + v)\, u}$$

Steht die Nadel des Multiplicators auf Null, so sind diese beiden Werthe einander gleich, also ist

$$E_1 \cdot w = E_2\,(W + C)$$

$$E_2 = w \cdot \frac{E_1}{W + C}$$

d. h. die zu messende electromotorische Kraft ist dem Widerstande der Strecke RS, also auch ihrer Länge, direct proportional, so lange der Bruch $\frac{E_1}{W + C}$, d. h. die Stromstärke im Kreise der Grove'schen Kette constant bleibt. Von dieser Constanz kann man sich aber mit Hilfe der bei T eingeschalteten Tangentenbussole jederzeit überzeugen.

Zu dieser Compensation kann man sich sehr zweckmässiger Weise des schon früher erwähnten kreisförmigen Rheochords von du Bois (Fig. 51 a. folg. S.) bedienen. Zu diesem Zwecke verbindet man die constante Kette mit den Klemmen I und II, die Klemmen III und IV dagegen mit dem ableitenden Bogen, welcher den Multiplicator und den zu untersuchenden Körper enthält, dann geht der Strom der Messkette durch den ringförmigen Draht, ein Theil desselben zweigt sich durch die Leitung III und IV ab, begegnet hier dem von dem untersuchten Körper ausgesandten Strome, und

indem man durch Drehung der Compensatorscheibe den abgeleiteten Zweig ändert, bis die Multiplicatornadel auf Null bleibt, hat man in der dann eingeschalteten Länge des Rheochord-

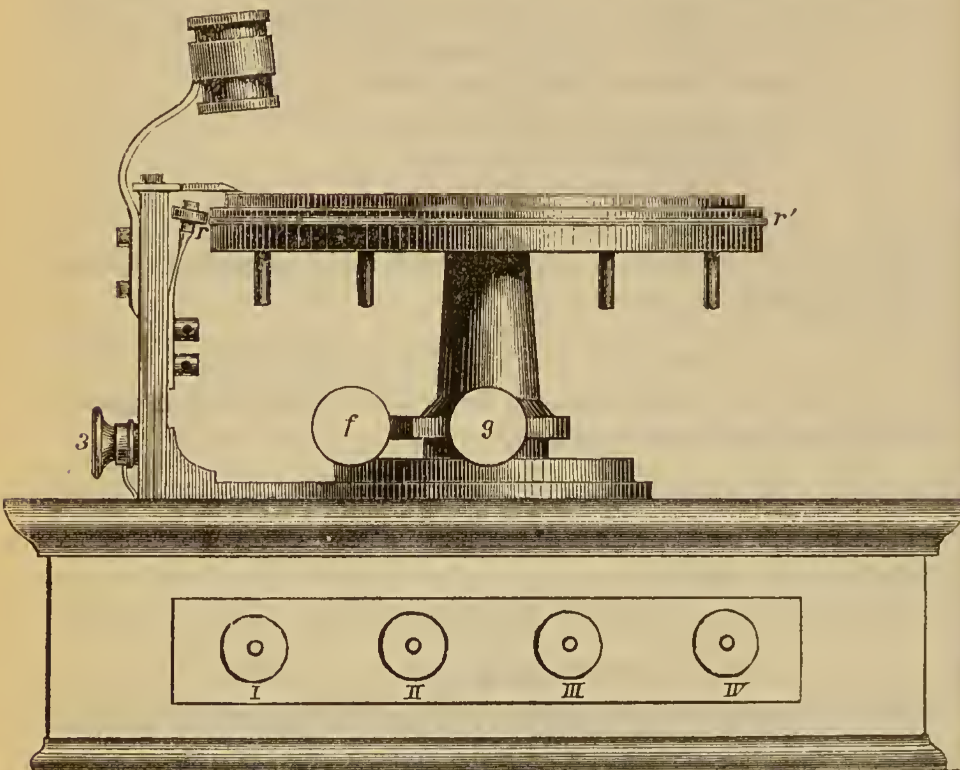


Fig. 51.

drahtes das Maass für die zu messende electromotorische Kraft. Die ganze Anordnung wird noch klarer aus der schematischen Darstellung in Fig. 52. Der Strom der Kette tritt hier durch die Klemme II in den Compensatordraht bei S ein, durchläuft den ringförmig gekrümmten Draht bis N und kehrt über Klemme I zur Kette zurück. Die Abzweigung des Stromes geschieht von den Punkten r und o. An letzterem geht der Compensatordraht über den festen Platinsteg, welcher mit der Klemme IV in Verbindung steht, an ersterem geschieht die Ableitung durch die Rolle r, welche gegen den Draht presst und mit der Klemme III verbunden ist. Der zwischen III

und IV eingeschaltete Körper (ein Muskel z. B.) entwickelt einen jenem Stromzweig entgegengesetzt gerichteten und gleich starken Strom, so dass die Multiplicatornadel nicht abgelenkt wird.

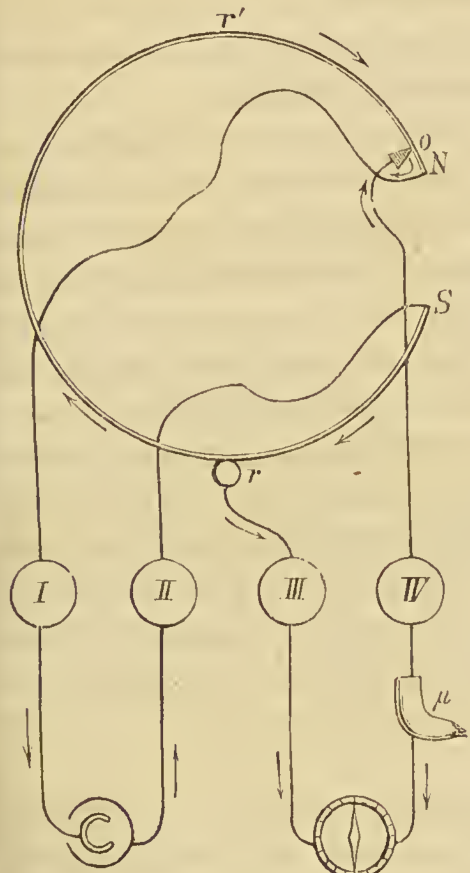


Fig. 52.

Der Strom des Muskels ist daher der eingeschalteten Länge Or des Compensatordrahtes proportional.

Auf diesem Wege ist es also möglich, die Anordnung der Spannungscurven auf der Oberfläche eines Körpers mit grosser Schärfe zu bestimmen, eine Schärfe, die nur von der Empfindlichkeit des Multiplicators und des Rheochords abhängt. Je geringer nämlich der Widerstand der Rheochordsaite ist, um so grössere Verschiebungen sind natürlich nöthig, um dieselbe Aenderung der Stromstärke im Multiplicatorkreise zu bewirken, desto genauer wird also auch die Messung.

Es ist klar, dass man auf diese Weise nicht die absolute Spannung bestimmt, welche an jedem Puncte der Oberfläche herrscht, sondern nur die Differenzen der Spannungen an verschiedenen Puncten. Diese Differenzen der Spannungen entsprechen dem, was man bei einer galvanischen Kette die electromotorische Kraft nennt. Das Maass, in welchem diese electromotorische Kraft ausgedrückt wird, ist zunächst ein

ganz willkürliches, z. B. es wird die Kraft als Einheit genommen, welcher gerade bei Entfernung des Schiebers S von der Klemme R um 1 Cm. das Gleichgewicht gehalten wird. Eine Reduction dieser Einheit auf eine beliebige andere ist für den augenblicklich vorliegenden Zweck, die Feststellung der electromotorischen Oberfläche, unnöthig.

Wenn man nun auf diese Weise die Anordnung der Spannungscurven auf der Oberfläche eines Leiters ermittelt hat, so kommt es darauf an, Rückschlüsse daraus zu machen auf die im Körper vorhandenen electromotorischen Kräfte und ihre Vertheilung. Es ist aber klar, dass einer und derselben Anordnung von Spannungscurven sehr viele mögliche Anordnungen electromotorischer Kräfte entsprechen. Diese zu finden ist also stets Sache der Hypothese, indem man nämlich unter den möglichen Anordnungen diejenige wählt, welche am Einfachsten und Vollständigsten allen Bedingungen entspricht, die durch den Versuch gefunden worden sind. Ein Beispiel dafür liefern die Muskeln und Nerven, wovon das Nähere hier jedoch nicht abgehandelt werden kann, da es Gegenstand der Physiologie ist.

§. 66. Im Vorhergehenden haben wir eine Methode kennen gelernt, mit Hilfe der Compensation Spannungsdifferenzen, oder was dasselbe ist, electromotorische Kräfte zu messen. Handelt es sich aber darum, unmittelbar die Stromstärke zu bestimmen, so kann man dazu nicht etwa einfach die Ablenkung der Multiplicatornadel benutzen. Denn bei dem complicirten Bau des Multiplicators herrscht keine einfache Beziehung zwischen der Stromstärke und der Grösse der Ablenkung, sondern diese ist für jedes einzelne Instrument und auch für dieses nur so lange gültig, als an der Aufstellung, dem Magnetismus der Nadeln u. s. w. nichts sich ändert. Man kann aber einen jeden Multiplicator mit Hilfe des Prin-

cips der Stromverzweigung so graduiren, dass er zu genauen Messungen der Stromstärken brauchbar ist.

Wollten wir den Strom einer Grove'schen oder Daniell-schen Kette direct durch den Multiplicator leiten, so würde dieser Strom für das empfindliche Instrument viel zu stark sein. Wir können aber durch Einschaltung des Rheochordes als Nebenschliessung geringe Bruchtheile des Stromes durch den Multiplicator leiten, wie wir dies in der in Fig. 26 dargestellten Anordnung mit den Nerven thaten. In diesem Falle können wir ebenso wie dort den Widerstand der Rheochordsaite als unendlich klein gegen den Widerstand der Kette sowohl als gegen den des langen und dünnen Multiplicatordrahtes ansehen, falls wir uns des in §. 43 Fig. 26 dargestellten einsaitigen oder des Kreisrheochords von du Bois-Reymond, Fig. 27, bedienen. Unter diesen Umständen ist aber, wie wir S. 90 gesehen haben, die Stromstärke im Multiplicatorkreise den Längen der eingeschalteten Rheochordabschnitte direct proportional. Wenn wir also eine beliebige Stromstärke, z. B. diejenige, welche bei einem eingeschalteten Rheochordabschnitte von 1 Cm. besteht, als Einheit annehmen, und die dabei, sowie bei den anderen Stellungen des Rheochordschiebers auftretenden Ablenkungen der Multiplicatornadeln notiren, so erhalten wir eine Tabelle, mittelst deren wir aus einer beobachteten Ablenkung die Stromstärke in jener willkührlich von uns gewählten Einheit ableiten können. Um nun diese willkürliche Einheit auf die allgemein übliche zurückzuführen, müsste man die Stromstärke im Hauptkreise durch eine Tangentenbussole messen, und das Verhältniss der Widerstände des Rheochorddrahtes und des Multiplicatordrahtes bestimmen. Dann könnte man die Stromstärke im Multiplicatorzweige nach den Formeln des §. 41 berechnen.

Bei dieser Graduirung stellt sich heraus, dass die Empfindlichkeit des Multiplicators, welche bei geringen Ablenkungen

so bedeutend ist, mit dem Grösserwerden der Ablenkungen sehr schnell abnimmt. Finden wir z. B. für eine bestimmte Stromstärke eine Ablenkung von 10°, so bedarf es zu einer Ablenkung von 20° schon der dreifachen, zu einer Ablenkung von 30° vielleicht der zehn- bis fünfzehnfachen Stromstärke. Aus diesem Grunde ist es vortheilhaft, da wo es sich um die Beobachtung von kleinen Aenderungen der Stromstärken handelt, womöglich mit schwachen Ablenkungen des Multiplicators zu arbeiten. Hierzu ist die Methode der Compensation sehr nützlich. Indem man nämlich durch die in Fig. 50 dargestellte Anordnung die durch eine electromotorische Kraft hervorgerufene Ablenkung durch eine andere aufhebt, und die Nadel auf den Nullpunkt zurückführt, bringt man sie in die Stellung der grössten Empfindlichkeit, wo geringe Schwankungen der Kraft sich durch bedeutende Ablenkungen der Nadeln bemerklich machen.

Capitel X.

Von der Messung sehr geringer Stromstärken, besonders kurz dauernder Ströme und der electrischen Zeitmessung.

§. 67. Wir haben schon im vorhergehenden Paragraph gesehen, wie man mit Hülfe der Verzweigung im Stande ist, Multiplicatoren zu graduiren, um sie zu Messungen von Stromstärken zu verwenden. Aber diese Methode setzt voraus, dass die zu messenden Ströme längere Zeit in gleicher Stärke anhalten. Es ist aber gerade eine bei physiologischen Fragen sehr häufige Aufgabe, nur kurze Zeit dauernde Ströme zu messen. Wir wollen daher hier noch einige Instrumente beschreiben, welche zu diesen Zwecken dienen, und daran die Besprechung einer Methode knüpfen, sehr kleine Zeiten mit Hilfe electrischer Ströme zu messen, welche Methode zur Beantwortung einer der wichtigsten Fragen der allgemeinen Muskel- und Nervenphysiologie gedient hat.

Die §. 31 beschriebene Tangentenbussole ist nur zur Messung ziemlich starker Ströme geeignet. Man hat dem Instrument aber verschiedene Gestalten gegeben, um es auch zur Messung schwacher Ströme geeignet zu machen, von denen wir eine Form hier beschreiben wollen. Auf einem Brette,

welches durch drei Schrauben horizontal gestellt werden kann, sind zwei Drahtrollen BB parallel mit sich selbst verschiebbar, die Entfernung von dem Puncte in der Mitte, wo die Rollen sich berühren, kann auf einer Theilung abgelesen werden. Gerade in dieser Mitte hängt an einem mehrfachen Coconfaden die Magnetnadel, welche hier aber keine Nadel ist, sondern ein kreisrunder Stahlspiegel, welcher so magnetisirt ist, dass seine magnetische Axe mit seinem horizontalen Durchmesser zusammenfällt. Leitet man durch eine oder beide Rollen einen Strom, nachdem das ganze Instrument so aufgestellt ist, dass der Spiegel im magnetischen Meridian hängt, so wird der Spiegel abgelenkt. Wir haben nun aber §. 31 gesehen, dass die Stromstärke nur dann wirklich den Tangenten der Ablenkungen proportional ist, wenn die Grösse der Nadel gegen den Durchmesser des sie umgebenden kreisförmigen Stromes so klein ist, dass die Wirkung des Stromes auf die Nadel durch die Ablenkung selbst nicht geändert wird. Da nun diese

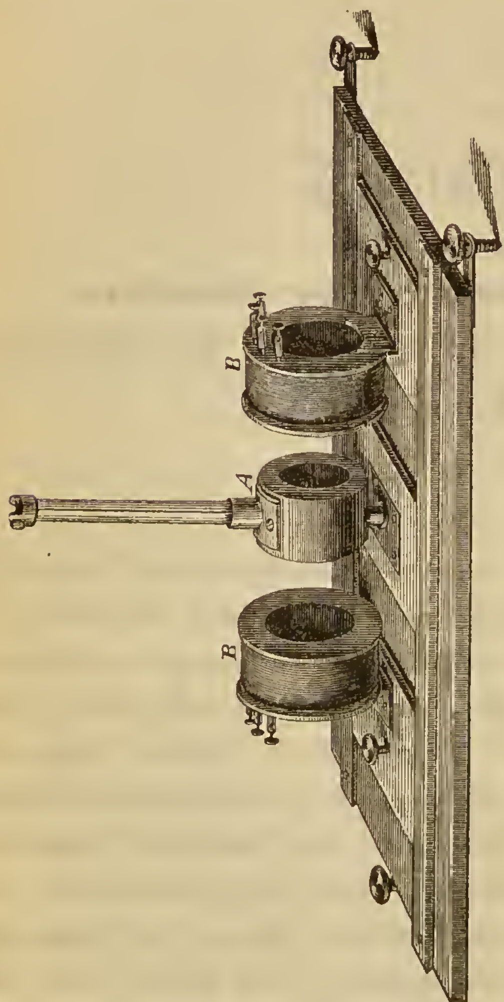


Fig. 53.

Bedingung bei dem jetzt betrachteten Instrumente nicht erfüllt ist, so darf man es nur als genaues Mess-Instrument gebrauchen, wenn die Ablenkungen sehr klein sind; denn dann ändert sich die Lage des Spiegels zu den Windungen ja nur unwesentlich. Um nun diese kleinen Ablenkungen zu messen, stellt man vor dem Instrument in einiger Entfernung eine Scala auf und beobachtet das Spiegelbild derselben im Stahlspiegel mit einem Fernrohr. Im Ocular dieses letzteren ist nämlich ein verticaler Faden ausgespannt, welchen man an einem bestimmten Theilstrich der Scala sieht. Wird nun der Spiegel abgelenkt, so scheint sich die Scala an dem Faden zu verschieben, und diese Verschiebung ist, wie eine leichte Construction ergiebt, gleich der Tangente des doppelten Ablenkungswinkels. Ist die Entfernung der Scala vom Spiegel etwas beträchtlich, so ist diese Art der Ablesung ungemein empfindlich. Um Schwingungen des Spiegels durch Luftzug zu vermeiden, ist derselbe mit einer kupfernen Hülle A umgeben, welche vorn mit einem Planglase verschlossen ist. Die kupferne Hülle hat ausserdem noch den Vortheil, dass in ihr bei Bewegung des Spiegels Ströme inducirt werden, welche den Spiegel in entgegengesetzter Richtung zu drehen streben, so dass selbst starke Schwingungen sehr bald zur Ruhe gebracht oder *gedämpft* werden.

Gewöhnlich hat man zu diesem Instrumente mehre Paare von Rollen mit Draht von verschiedener Länge und Dicke, um je nach Umständen die vortheilhaftesten benutzen zu können. Auch lässt man die Rollen so wie die Multiplicatoren aus zwei parallel laufenden Drähten wickeln. Je nach der Stärke der Ströme wendet man nur eine Rolle oder beide zugleich an und bringt sie in verschiedenen Abstand vom Spiegel. Je grösser dieser Abstand ist, um so grösser können die Ablenkungen sein, ohne dass die Proportionalität der Stromstärken zu den Tangenten der Ablenkungen gefährdet wird.

Da nun bei den kleinen Winkeln, um welche es sich doch hier nur handelt, die Tangente des doppelten Winkels gleich gesetzt werden kann der doppelten Tangente des Ablenkungswinkels, so kann man die Stromstärke direct proportional setzen den abgelesenen Scalentheilen. Um ein absolutes Maass der Stromstärke durch das Instrument zu erlangen, muss man es entweder, wie oben §. 31. bei der Tangentenbussole angegeben worden ist, mit einem Voltameter vergleichen, oder mit einer schon geprüften Tangentenbussole. Da jedoch diese beiden Instrumente viel zu unempfindlich sind, um durch dieselben Ströme merklich beeinflusst zu werden, welche auf die Spiegelbussole wirken, so bedient man sich auch hier des Princips der Stromverzweigung. Man leitet nämlich, ganz wie bei der Graduirung des Multiplicators im vorigen Paragraph angegeben worden, den Strom durch eine Tangentenbussole und einen Draht, dessen Widerstand ein bekannter Bruchtheil des Widerstandes der Spiegelbussole ist. Schaltet man dann diese als Nebenschliessung zu jenem Drahte ein, so geht durch sie nur ein bekannter Bruchtheil des Stromes. Wenn man also die Stärke des Stromes misst, und die Ablenkung, welche durch jenen Bruchtheil an der Spiegelbussole hervorgebracht wird, so hat man die Constante des Instruments bestimmt und kann dasselbe zu absoluten Messungen benutzen. Es versteht sich von selbst, dass man dabei die veränderliche Entfernung der Rollen vom Spiegel jedesmal in Rechnung ziehen muss, deren Einfluss ja leicht durch Versuche nach Art des eben angegebenen gefunden werden kann.

Man kann dem Instrumente auch eine etwas veränderte Gestalt geben, indem man statt des magnetischen Spiegels einen einfachen geraden Magnetstab anwendet, mit welchem ein gewöhnlicher Glasspiegel durch ein verticales festes Messingstück verbunden ist, so dass der Spiegel über den Drahtrollen in einem kleinen Glasgehäuse hängt. Die Drahtrollen und

das kupferne Gehäuse erhalten dann statt der kreisförmigen eine flach ovale Gestalt, um die Drahtwindungen möglichst nahe dem Magneten zu bringen. Indem so der Magnet bei derselben Stärke des Magnetismus ein viel geringeres Gewicht haben kann, wird die Empfindlichkeit des Instrumentes erhöht. Auch bietet diese Einrichtung den Vortheil, dass man den Spiegel an dem Messingstück drehbar anbringen kann, um ihn bei jeder beliebigen Stellung des Instrumentes auf die Scala richten zu können.

Einen ausserordentlich hohen Grad von Empfindlichkeit kann man diesem Instrumente ertheilen, wenn man die Richtkraft der Erde auf den Magnetstab oder magnetischen Spiegel verkleinert, indem man über oder unter demselben im magnetischen Meridian einen starken Magnetstab anbringt, welcher den Magneten der Bussole in entgegengesetzter Richtung zu drehen strebt, als die Erde, oder auch, wenn man zur Seite des Magneten und gerade in seiner Verlängerung den starken Magnetstab, mit dem feindlichen Pole jenem zugewandt, aufstellt. Indem man diesen starken Magnetstab von oben, unten oder der Seite her allmählich annähert, kann man dem Magneten der Bussole jeden beliebigen Grad der Astasie ertheilen und die Empfindlichkeit des Instrumentes entsprechend steigern. Ein derartiges Instrument hat Meissner unter dem Namen Electrogalvanometer beschrieben.

Für manche Zwecke ist es wünschenswerth, dass der durch den Strom abzulenkende Magnet ein sehr grosses Trägheitsmoment habe. Für diese Fälle bedient man sich eines starken Magnetstabes, welcher mittelst einer über ihn geschobenen Messinghülse an starken Fäden aufgehängt ist, eines so genannten Magnetometers, und nähert diesem von der Seite her ein gewöhnliches Multiplicatorgewinde, durch welches der Strom geleitet wird. Die Ablesung der Ablen-

kungen geschieht auch hier mittelst Fernrohr und Scale in einem an der Messinghülse befestigten Spiegel.

§. 68. Wenn man in dem letzteren Falle Ströme von sehr kurzer Dauer durch das Multiplicatorgewinde leitet, so vollendet der Magnetstab seine Schwingung in Folge seines Trägheitsmomentes erst sehr viel später, nachdem der Strom schon längst aufgehört hat. In diesem Falle ist die Tangente des Winkels, um welchen der Magnet abgelenkt wird, proportional der Stärke des Stromes und der Zeit, welche der Strom gedauert hat. Denn da während der sehr kurzen Dauer des Stromes der Magnet in Folge seiner Trägheit sich nicht merklich aus seiner Gleichgewichtslage entfernen konnte, so wirkt der Strom in jedem einzelnen Zeittheilchen gleichmässig auf denselben. Da nun die Tangente des Ablenkungswinkels jedenfalls proportional sein muss der Menge der Electricität, welche auf den Magneten gewirkt hat, diese Electricitätsmenge aber bei einem constanten Strome proportional sein muss der Zeit, welche er gedauert hat, so folgt daraus die behauptete Proportionalität zwischen der Zeitdauer des Stromes und der Tangente des Ablenkungswinkels.

Diese Proportionalität hört auf, ganz strenge zu gelten, wenn schon während der Dauer des Stromes der Magnet seine Lage merklich gegen die Windungen des Multiplicators ändert, also ebensowohl bei geringerem Trägheitsmoment des Magneten, als bei längerer Dauer des Stromes. Da es sich aber bei den hier beschriebenen Instrumenten immer nur um sehr kleine Ablenkungen handelt, so kann man sich bei Strömen von sehr kurzer Dauer auch solcher Instrumente bedienen, bei denen die Magnete nicht sehr grosse Trägheitsmomente besitzen, ohne dass die Proportionalität gefährdet ist. Wie wir oben gesehen haben, kann man aber für die Tangenten der Ablenkungswinkel geradezu setzen die mit dem Fernrohr abgelesenen Scalentheile.

§. 69. Es liegt nahe, diese Proportionalität der Ablenkung mit der Zeitdauer des Stromes zur Messung der Zeit zu benutzen, sei es, dass nur die Zeitdauer des Stromes gesucht wird, sei es, dass man die Zeitdauer irgend eines anderen Vorganges bestimmen will. In diesem letzteren Falle hat man dafür zu sorgen, dass genau gleichzeitig mit dem Beginne des zu messenden Vorganges der den Magneten ablenkende Strom geschlossen, und gleichzeitig mit dem Aufhören jenes Vorganges wieder unterbrochen werde. Kennt man dann die Intensität des angewandten Stromes, so kann man aus der Ablenkung des Magneten die Zeitdauer des Stromes und also auch die Zeitdauer des mit jenem gleichzeitig begonnenen und unterbrochenen Vorganges berechnen.

Die Intensität des zur Zeitmessung angewandten Stromes findet man, wenn man denselben dauernd durch das Multiplicatorgewinde leitet und die Ablenkung des Magneten misst. Da aber die Intensität des Stromes, wenn er bei sehr kurzer Dauer noch messbare Ablenkungen hervorbringen soll, zu bedeutend wäre, um bei stetigem Durchfliessen durch denselben Multiplicator gemessen zu werden, so verfährt man ebenso, wie im vorhergehenden Paragraph für die Graduirung der Bussole angegeben wurde. Man bringt eine Nebenschliessung zu dem Multiplicator an, deren Widerstand ein bestimmter, durch besondere Versuche festgestellter Bruchtheil des Widerstandes des Multiplicators ist. Durch den Multiplicator geht also jetzt nur ein kleiner Theil des ganzen Stromes. Die dadurch bewirkte Ablenkung des Magneten multiplicirt mit dem Verhältniss der Schwächung des Stromes durch die Nebenschliessung ist die Intensität des Stromes, ausgedrückt durch die Ablenkung, welche der Magnet hätte erfahren müssen, wenn der ganze Strom dauernd durch den Multiplicator gegangen wäre.

Ein Beispiel wird das hier Gesagte klar machen. Gesetzt wir hätten irgend einen kurzdauernden Vorgang zu messen, z. B. die Fallzeit eines Körpers durch einen bestimmten Raum. Es sei eine Einrichtung gegeben, wodurch ein galvanischer Strom geschlossen wird genau in dem Momente, wo der Körper zu fallen beginnt, und geöffnet wird genau in dem Momente, wo der Körper zu fallen aufhört. Dieser Strom, dessen Zeitdauer also genau gleich ist der Fallzeit des Körpers, lenke den Magneten um einen bestimmten Winkel ab, aus dessen Grösse die Zeit berechnet werden soll. Leiten wir denselben Strom dauernd durch den Multiplicator, so ist die Ablenkung viel zu gross, um als ein Maass für die Intensität des Stromes gelten zu können, da ja die Messungen nur bei sehr kleinen Ablenkungen richtig sind. Wir bringen daher eine Nebenschliessung zu dem Multiplicator an, so dass der Strom sich in zwei Zweige spaltet, von welchen der eine durch den Multiplicator, der andere durch die Nebenschliessung geht. Das Verhältniss des Widerstandes der Nebenschliessung zu dem Widerstande des Multiplicators sei gleich 1 : 99, dann geht nur der hundertste Theil des ganzen Stromes durch den Multiplicator. Dieser hundertste Theil lenke den Magneten um einen Winkel ab, welchem bei der Ablesung mit Spiegel und Fernrohr 25 Scalentheile entsprechen mögen. Dann ist offenbar 25 . 100 = 2500 das Maass für die Intensität des Stromes, ausgedrückt in der nämlichen Einheit, in welcher auch bei der kurzen Dauer des Stromes die Messung geschieht.

Um nun aus diesen Grössen die Fallzeit zu berechnen, betrachten wir den kurzdauernden Strom als einen momentan wirkenden Stoss, welcher dem Magneten eine gewisse Geschwindigkeit ertheilt. Nach den Pendelgesetzen, welche auch für frei schwingende Magnete gelten, wird diese Geschwindigkeit ausgedrückt durch die Gleichung

$$C = \frac{\pi}{T} h.$$

wo T die Schwingungsdauer des Magneten, und h den beobachteten Ausschlag bezeichnet. Diese Geschwindigkeit muss aber auch sein

$$C = \frac{t\ J\ M}{K}$$

wo t die Zeitdauer des Stromes, J seine Intensität, gemessen in der oben angegebenen Weise, M das magnetische und K das Trägheitsmoment des Magneten bezeichnet. Es ist also

$$t = \frac{\pi}{T\,.\,J} \,.\, h \,.\, \frac{K}{M}$$

Nun ist aber

$$\frac{K}{M} = \frac{T^2}{2\ \pi^2}$$

mithin

$$t = \frac{T}{2\ \pi\ J} \,.\, h$$

Diese Gleichung gilt jedoch nur für den Fall, dass der Magnet vor der Einwirkung des Stromes ganz ruhig war, und dass die Dämpfung keine bedeutende ist. War jedoch der Magnet schon vorher in Schwingungen begriffen und macht sich die Dämpfung in beträchtlicher Weise geltend, so müssen diese Umstände noch in Rechnung gezogen werden, worauf wir jedoch hier nicht näher eingehen können.

§. 70. Eine der schönsten Anwendungen der eben entwickelten Methode zur Messung kleiner Zeittheilchen hat Helmholtz gemacht, um den zeitlichen Verlauf der Muskelzusammenziehung und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung in den Nerven zu messen. Der zu diesem Zwecke angewandte Apparat ist in der abgeänderten Form, welche ihm du Bois-Reymond gegeben hat, in Fig. 54 a. folg. S. dargestellt. Auf einer festen Tischplatte erhebt sich eine Säule, an welcher eine starke Klemme zum Einspannen des einen Muskelendes verschiebbar ist. Nach unten verlängert sich der Hebel in eine kurze Stange, welche durch ein Loch in der Tischplatte geht und unten eine Waagschale zur Belastung des Muskels trägt. Der Hebel trägt an seinem vorderen Ende zwei Schrauben, p und q, von denen die erstere unten in eine Platinspitze endigt und mit dieser auf einer Platinplatte aufruht, während letztere in eine amalgamirte Kupferspitze ausläuft und mit dieser in ein Quecksilbernäpfchen eintaucht. Platinplatte und Quecksilbernäpfchen sind von der Tischplatte und von einander isolirt, und letzteres mit der Klemme k, ersteres mit der Klemme k′ in leitende Verbindung gebracht.

Schaltet man zwischen k und k′ eine Kette und das im vorigen Paragraphen erwähnte Multiplicatorgewinde ein, so geht der Strom so lange durch das Quecksilbernäpfchen, das zwischen q und p enthaltene Hebelstück, die Platinplatte u. s. f., als der Muskel sich nicht zusammenzieht. Sobald aber der Muskel sich verkürzt, unterbricht er den Strom zwischen p und der Platinplatte. Trifft man nun eine solche Anordnung,

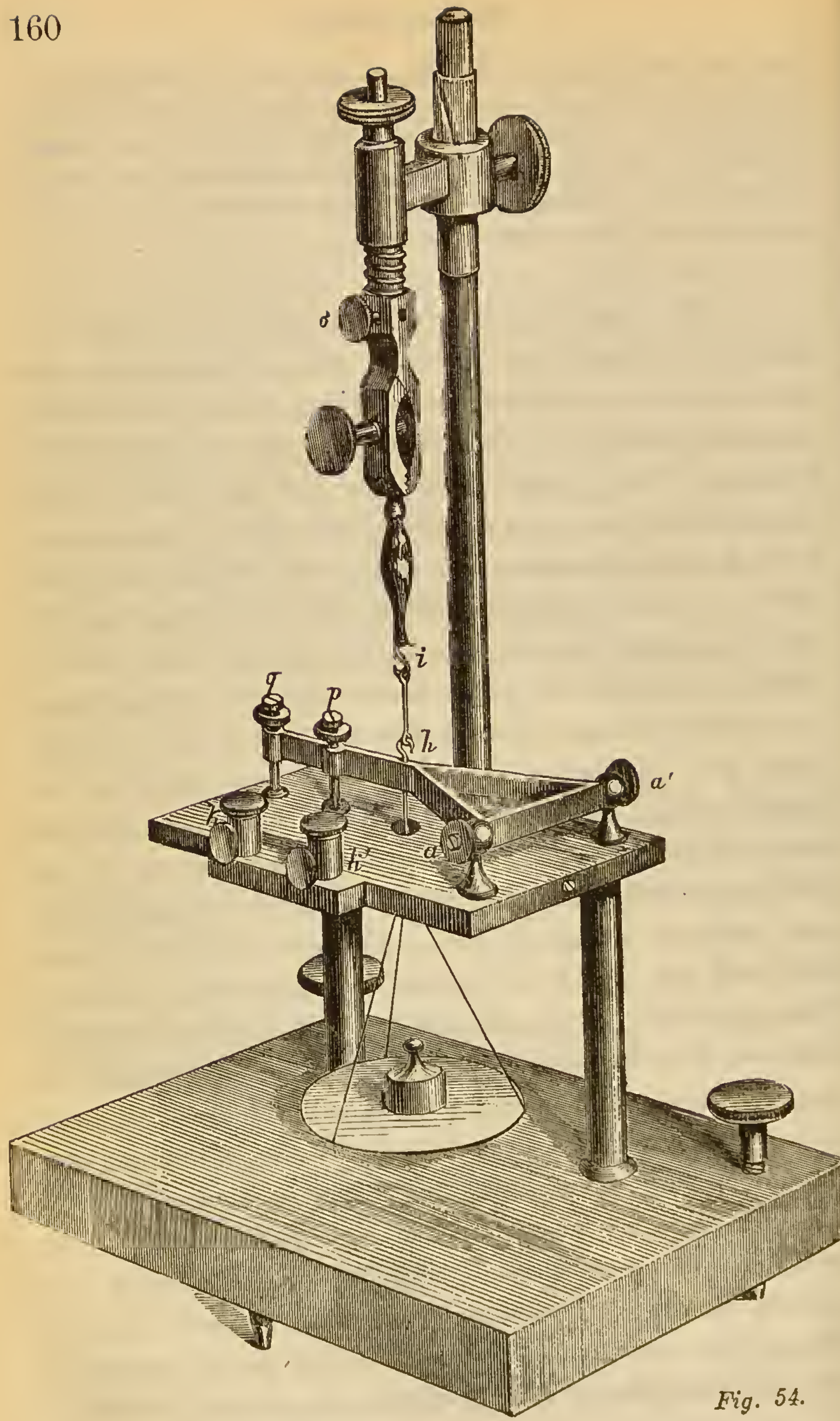


Fig. 54.

dass der Strom in dem Augenblicke geschlossen wird, wo irgend ein Reiz den Muskel trifft, so wird dieser Strom so lange circuliren, bis der Muskel durch seine Verkürzung den Strom wieder unterbricht. Diese Zeit kann man nach der im vorigen Paragraph angegebenen Methode messen, und diese Zeit entspricht also genau der, welche verfliesst von dem Augenblicke, wo der Reiz den Muskel trifft, bis zu demjenigen, wo die Verkürzung beginnt. Diese Zeit ist abhängig von dem auf die Wagschale gesetzten Gewichte und der Art der Muskelreizung. Sie ist nämlich kürzer, wenn der Reiz den Muskel selbst trifft (was man dadurch bewirken kann, dass man das eine Ende der reizenden Inductionsspirale in die Klemme σ einschraubt, das andere Ende in die Tischplatte), länger, wenn der Reiz den (in der Figur fortgelassenen) Nerven trifft. Und in diesem letzteren Falle ist die Zeit um so länger, je weiter vom Muskel entfernt die gereizte Stelle des Nerven liegt. Indem man daher in zwei aufeinander folgenden Versuchen den Nerven das eine Mal sehr nahe, das andere Mal in grösserer Entfernung vom Muskel reizt, findet man aus der Differenz der in beiden Fällen gemessenen Zeiten die Zeit, welche nöthig ist, damit die Erregung im Nerven sich von der oberen zur unteren Stelle fortpflanzen könne.

Noch ein Umstand ist jedoch zu berücksichtigen, um wirkliche Messungen möglich zu machen. Wenn der Muskel gereizt wird, so verkürzt er sich; aber diese Verkürzung dauert nur wenige Bruchtheile einer Secunde, dann hat der Muskel wieder seine frühere Länge angenommen. Bei dem oben geschilderten Versuch zur Zeitmessung würde also der durch die Muskelverkürzung unterbrochene Strom wieder geschlossen werden, noch ehe der Magnet seine erste Schwingung vollendet hätte. Und die Ablesung dieses Ausschlages würde natürlich durch die nun erfolgende dauernde Ablenkung gänzlich verhindert werden. Um dies zu vermeiden, hat

Helmholtz einen Kunstgriff angewandt, dessen Sinn aus Fig. 55 ersichtlich wird. Diese Figur stellt, wie man sieht, das Ende des Hebels aus dem vorher beschriebenen Apparat mit den beiden Schrauben p und q, der Platinplatte und dem Quecksilbernäpfchen vor. k, k sind die Drähte zur Verbindung der letzteren mit den Klemmen. Das Quecksilber im Näpfchen Hg kann mittelst der Schraube s gehoben und gesenkt werden. Hebt man nun das Niveau des Quecksilbers, so dass die Spitze q eintaucht, und senkt es dann wieder, so bleibt dasselbe vermöge der Adhäsion an der amalgamirten Spitze hängen und zieht sich daher zu einem conischen Faden aus, durch welchen die Leitung des Stromes vermittelt wird. Verkürzt sich nun aber der Muskel, so wird dieser Faden zerrissen, das Quecksilber nimmt wieder seine convexe Oberfläche an, und wenn bei der Verlängerung des Muskels der Hebel wieder sinkt, so berührt zwar die Spitze p wieder die Platinplatte, die Spitze q bleibt aber durch eine Luftschicht von dem Quecksilber getrennt, und der Strom bleibt also dauernd unterbrochen.

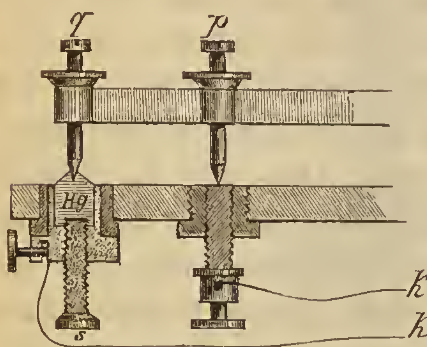


Fig. 55.

Der in Fig. 54 abgebildete Apparat kann auch noch zu anderen Untersuchungen im Gebiete der Muskelphysiologie dienen, so ins Besondere zur Entscheidung, ob unter gewissen Umständen ein Muskel überhaupt noch sich zu verkürzen vermag. Z. B. wenn man die Klemme, welche den Muskel trägt, gerade so weit senkt, bis die Spitze p eben die Platinplatte berührt, und dann auf die Wagschale Gewichte aufsetzt, so findet man eine Grenze der Gewichte, welche der Muskel noch zu heben vermag. Diese ist also ein Maass für die Kraft,

welche der Muskel bei der Zusammenziehung entwickelt. Um nun in diesem Falle mit Schärfe auch die kleinste Verkürzung des Muskels noch zu erkennen, leitet man durch die Spitzen p und q einen Strom, welcher natürlich selbst bei der geringsten Hebung der Spitze p sofort unterbrochen wird. Man erkennt dies leicht, wenn man in den Stromkreis noch einen kleinen Electromagneten einschaltet, dessen Anker bei der Oeffnung des Stromes durch eine Spiralfeder losgerissen wird und durch Anschlagen an eine Glocke ein Signal giebt.

§. 71. Es giebt noch eine andere Art der Zeitbestimmung kurzdauernder Ströme, welche für viele Fälle vortheilhaft ist, nämlich die mit Hülfe des Weber'schen Dynamometers. Dieses Instrument besteht aus zwei Drahtrollen, deren Windungen senkrecht auf einander stehen, und von denen die eine, im Inneren der anderen aufgehängte, mit einem Spiegel zur Messung der Ablenkungen mit Scale und Fernrohr versehen ist. Leitet man einen und denselben Strom durch beide Rollen, so sind die Tangenten der Ablenkungen den Quadraten der Stromstärken proportional. Leitet man nun einen kurzdauernden Strom durch dieses Instrument und ausserdem durch eine Bussole mit Spiegelablesung und liest die Ausschläge an den beiden Instrumenten ab, so kann man hieraus sowohl die Intensität, als auch die Dauer des Stromes berechnen. Denn ist die Ablenkung (in Scalentheilen ausgedrückt, welche ja direct für die Tangenten gesetzt werden können) beim Dynamometer α, bei der Bussole β, J die Intensität und t die Dauer, so ist

$$\alpha = J^2 \,.\, t \,.\, c$$

$$\beta = J \,.\, t \,.\, c_1$$

$$\text{also } J = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{c_1}{c}$$

$$\text{und } t = \frac{\beta^2}{\alpha} \cdot \frac{c}{c_1^{\,2}}$$

worin c und c_1 die Constanten der beiden Instrumente sind, welche bekannt sein müssen, um sowohl J als auch t in absoluten Maassen zu bestimmen.

§. 72. Bei den vorhergehenden Betrachtungen ist stets vorausgesetzt worden, dass die Ströme, wenn auch sehr kurze Zeit dauernd, doch während dieser Zeit vollkommen constant sind, insbesondere, dass bei der Schliessung die Intensität sogleich plötzlich von Null bis zu einer gewissen Grösse ansteige und bei der Oeffnung ebenso plötzlich von jener Grösse auf Null zurücksinke. Es kommt aber häufig vor, dass man die Intensität von Strömen zu bestimmen hat, bei welchen diese Bedingung nicht erfüllt ist, bei welchen die Intensität in irgend einer unbekannten Weise ansteigt, und dann wieder absinkt, wie dies z. B. bei den durch Induction erzeugten Strömen der Fall ist. Bei solchen Strömen kann natürlich nur im uneigentlichen Sinne von Intensität die Rede sein, da diese ja in jedem Augenblick eine andere ist. Leitet man einen solchen Strom durch die Bussole Fig. 53 oder eines der anderen oben beschriebenen Instrumente, so erfolgt ein Ausschlag, welcher proportional ist der ganzen Electricitätsmenge, welche durch das Instrument ging.

Ist die Dauer solcher Ströme so gering, dass man sie für momentan ansehen kann, wie dies z. B. bei den durch Oeffnung eines primären Stromes erzeugten Inductionsströmen der Fall ist oder bei den Entladungen einer Leydener Flasche, so kann man jene Electricitätsmenge geradezu für die Intensität des Stromes setzen. Ist aber die Dauer der Ströme nicht unendlich klein, so lässt sich aus der Electricitätsmenge weder die Dauer noch die Intensität bestimmen, da eine und dieselbe Electricitätsmenge in sehr verschiedener Weise sich abgleichen kann. Es können daher zwei Ströme von ganz verschiedener Dauer gleiche Electricitätsmengen haben, also an der Bussole gleiche Ablenkungen hervorrufen, während z. B. ihre physio-

logischen Wirkungen sehr verschieden sind, wie wir dies schon von den beiden bei der Schliessung und Oeffnung entstehenden Inductionsströmen des Magnetelectromotors gesehen haben. Die experimentelle Bestimmung des eigentlichen Verlaufes solcher Ströme ist dann äusserst schwierig. Man muss zu diesem Zwecke den veränderlichen Strom in viele möglichst kleine Zeittheilchen zerlegen, die man einzeln durch die Bussole leitet. Indem man annimmt, dass in diesen kleinen Zeittheilchen die Intensität sich nicht merklich ändert, also als constant angesehen werden kann, erhält man eine Kenntniss von dem zeitlichen Verlaufe des ganzen Stromes, welche um so genauer ist, je kleiner die einzelnen Zeittheilchen waren, in welche man den Strom zerlegt hat.

Ist die Dauer der Ströme sehr gering, so kann man sie auch einfach für constant ansehen, und durch gleichzeitige Beobachtung des Dynamometers und der Bussole ihre Dauer und Intensität bestimmen. (Vgl. §. 71.) Man erhält dann freilich für die Dauer nicht den wahren Werth, sondern einen etwas zu geringen, doch ist dieser Fehler meist zu vernachlässigen.

Capitel XI.

Von den Thermoströmen und der electrischen Temperaturbestimmung.

---

§. 73. Unter den vielen Quellen der Electricitäts-Entwickelung verdient noch eine unsere Aufmerksamkeit in Anspruch zu nehmen, wegen der wichtigen Anwendung, welche sie für physiologische und clinische Zwecke gestattet. Es ist dies die Electricitätsentwickelung, welche in einem aus zwei Metallen gebildeten Kreis stattfindet, wenn die beiden Grenzen, in welchen die Metalle zusammenstossen, ungleiche Temperatur haben.

Löthet man an einen Wismuthstab einen zweimal rechtwinklig gebogenen Bügel von Kupferblech, stellt in das so geformte Viereck eine auf einer Spitze drehbare Magnetnadel und bringt das Viereck in den magnetischen Meridian, so dass die Nadel sich gerade in dem Bügel befindet, erhitzt sodann eine der beiden Löthstellen, in welchen Kupfer und Wismuth zusammenstossen, so bemerkt man eine Ablenkung der Magnetnadel, welche so lange anhält, als die beiden Löthstellen ungleiche Temperatur haben. Diese Abweichung der Magnetnadel zeigt, dass in dem aus Wismuth und Kupfer gebildeten Kreise ein Strom circulirt, und aus der Richtung

der Ablenkung erkennen wir, dass dieser Strom in der erwärmten Löthstelle vom Wismuth zum Kupfer fliesst.

Erkälten wir, nachdem die Nadel zur Ruhe gekommen, eine der beiden Löthstellen, so wird die Nadel abermals abgelenkt und zeigt jetzt einen Strom an, welcher in der erkälteten Löthstelle vom Kupfer zum Wismuth gerichtet ist.

Ebenso wie mit Wismuth und Kupfer gelingt dieser Versuch auch mit anderen Metallen, ja bei Anwendung des Antimons statt des Kupfers sind die Wirkungen sogar noch stärker.

Löthet man an einen Wismuthstab beiderseits starke Kupferdrähte und verbindet diese mit der Tangentenbussole Fig. 5, so erhält man eine Ablenkung im einen oder anderen Sinne, wenn man die eine der beiden Löthstellen erwärmt oder erkältet. Wenn man nun die eine der Löthstellen auf constanter Temperatur erhält, indem man sie z. B. mit schmelzendem Eis umgiebt, und der anderen nach und nach verschiedene Temperaturen ertheilt, so kann man die Stärke der Ströme messen, welche diesen Temperaturen entsprechen. Auf diese Weise findet man, dass die electromotorische Kraft, welche durch die ungleiche Temperatur der beiden Löthstellen entsteht, proportional ist der Temperaturdifferenz der beiden Löthstellen.

Stellt man diesen Versuch mit anderen Metallen an, indem man z. B. den Wismuthstab durch einen Eisenstab ersetzt, so findet sich auch hier, dass die electromotorische Kraft den Temperaturdifferenzen der Löthstellen proportional ist, aber die absoluten Werthe der electromotorischen Kräfte für eine und dieselbe Temperaturdifferenz sind nicht dieselben bei Anwendung des Eisenstabes wie bei Anwendung des Wismuthstabes. Ebenso würde man wieder andere Werthe erhalten, wenn man einen Stab von Neusilber oder sonst einem anderen Metalle nähme.

In allen diesen Fällen ist das eine der beiden angewandten Metalle stets Kupfer. Man kann aber auch die electromotorischen Kräfte anderer Metallcombinationen mit Hülfe der Tangentenbussole prüfen. Löthet man z. B. an einen Wismuthstab jederseits einen Antimonstab und verbindet die beiden Antimonstäbe mit der Tangentenbussole mit Hülfe kupferner Drähte, so hat man einen Kreis aus drei Metallen: Wismuth, Antimon und Kupfer. Behalten die beiden Löthstellen, in welchen Kupfer und Antimon zusammenstossen in dem Versuche stets gleiche Temperatur, so kann durch sie kein Strom erzeugt werden. Erwärmt oder erkältet man also eine der Löthstellen zwischen Wismuth und Antimon so erhält man einen Strom ebenso als wenn der Kreis nur aus diesen beiden Metallen bestände.

§. 74. Auf diese Weise kann man die electromotorischen Kräfte zwischen beliebigen Metallcombinationen für eine bestimmte Temperaturdifferenz bestimmen. Die folgende Tabelle giebt einige solche nach den Versuchen von Wiedemann.

Es ist für 1° C. Temperaturdifferenz die electromotorische Kraft zwischen:

Eisen und Silber . . .	3,64
Eisen und Kupfer . .	2,81
Eisen und Neusilber	7,67

Becquerel bestimmte die electromotorische Kraft für 20° Temperaturdifferenz, die zwischen Zink und Kupfer gleich 1 gesetzt, zu:

Eisen — Zinn	31,24
Kupfer — Platin	8,55
Eisen — Kupfer	27,96
Silber — Kupfer	2
Eisen — Silber	26,20
Eisen — Platin	36,07

Kupfer — Zinn	3,50
Zink — Kupfer	1
Silber — Gold	0,50

Aus der Becquerel'schen Tabelle lässt sich ein sehr wichtiges Gesetz ableiten. Nehmen wir nämlich die electromotorische Kraft zwischen Kupfer und Zinn = 3,50 + der electromotorischen Kraft zwischen Eisen und Kupfer = 27,96, so erhalten wir den Werth 32,46. Dieser ist aber sehr wenig verschieden von dem Werth für die Combination Eisen — Zinn (31,24). Ebenso ist Eisen — Kupfer (27,96) + Kupfer — Platin (8,55) = 36,51 nur wenig verschieden von dem für Eisen — Platin gefundenen Werthe (36,07). Es ist also die electromotorische Kraft zwischen Eisen und Kupfer plus der electromotorischen Kraft zwischen Kupfer und Platin gleich der electromotorischen Kraft zwischen Eisen und Platin. Und dies gilt auch für die anderen Metalle. Bildet man daher einen Kreis aus drei Metallen z. B., Eisen, Platin und Kupfer, und erwärmt die beiden Löthstellen, mit welchen das Platin einerseits an Eisen, andererseits an Kupfer stösst, gleichmässig, so erhält man denselben Strom, als wäre das Kupfer direct an das Eisen gelöthet und dort auf die nämliche Temperatur erwärmt worden.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass man die Körper muss in eine Reihe ordnen können, der Art, dass bei der Combination je zweier Körper der Reihe die electromotorische Kraft für eine bestimmte Spannungsdifferenz stets die Summe der electromotorischen Kräfte der zwischenliegenden ist. Diese Reihe heisst die thermoëlectrische Spannungsreihe. Es ist folgende:

—	Kobalt
Wismuth	Quecksilber
Neusilber	Platin
Nickel	Gold

Messing	Zink
Kupfer	Silber
Zinn	Eisen
Aluminium	Antimon
Blei	+

Die Zeichen — und + am Anfang und Ende der Reihe zeigen an, dass der Strom in der erwärmten Löthstelle von dem in der Reihe später stehenden zu dem früher stehenden gerichtet ist.

Die eben mitgetheilte Spannungsreihe ist allerdings in ihrem Werthe dadurch etwas beschränkt, dass schon geringfügige Umstände, wie ganz geringe Beimengungen zu einem Metall oder Unterschiede in der Härte u. dergl., die Stellung des Metalles in der Reihe ändern können. Auch die oben angeführte Proportionalität zwischen den Temperaturdifferenzen und den electromotorischen Kräften erleidet bei höheren Temperaturen Ausnahmen. So ist z. B. nach den Versuchen von Wiedemann die electromotorische Kraft für 1° Temperaturdifferenz

für Kupfer — Eisen

zwischen 0 und 35°	3,90
„ „ „ 48°	3,80
„ „ „ 61°	3,73
„ „ „ 76°	3,61
„ „ „ 82°	3,56

für Kupfer — Neusilber

zwischen 0 und 32°	3,54
„ „ „ 73°	3,82

Wir sehen also, dass für Kupfer — Eisen die electromotorische Kraft mit Temperaturerhöhung abnimmt, und dies ist bei den meisten Combinationen die Regel. Für Kupfer — Neusilber ist es dagegen gerade umgekehrt. Bei noch höheren Temperaturen tritt die Abweichung vom Proportionalitätsgesetz

noch deutlicher hervor, ja es kann hier sogar eine Umkehrung der Stromesrichtung im Vergleich zu der bei niederen Temperaturen eintreten. Bei Kupfer — Eisen z. B. ist bei niederen Temperaturen der Strom in der erwärmten Löthstelle vom Kupfer zum Eisen gerichtet. Erhält man die eine Löthstelle auf 0° und erwärmt die andere, so nimmt der Strom bis 140° an Stärke zu, dann wird er wieder schwächer und ist bei 300 Grad Null, um bei noch höherer Temperatur mit umgekehrter Richtung wieder zu erscheinen.

§. 75. Die electromotorischen Kräfte, welche durch ungleiche Temperatur in zusammengelötheten Metallen entstehen, sind überaus klein und nur dem sehr geringen Widerstande, welchen die nur aus Metallen ohne Dazwischenkunft feuchter Leiter gebildeten Kreise bieten, ist die verhältnissmässige Stärke der Ströme zu verdanken. So ist z. B. die electromotorische Kraft eines Elementes Kupfer — Neusilber bei 100 Grad Temperatur-Differenz nur $\frac{1,108}{1000}$ der electromotorischen Kraft eines Daniell'schen Elementes. Man kann aber die electromotorischen Kräfte bedeutend steigern, wenn man viele Elemente zu einer zusammengesetzten Kette vereinigt. Solche „Thermosäulen" erhält man dadurch, dass man eine Anzahl gerader Stäbe, z. B. von Antimon und Wismuth, abwechselnd parallel neben einander legt, ohne dass sie sich berühren und nun die Enden derselben wechselweise mit einander verlöthet. Der erste Antimon- und der letzte Wismuthstab bleiben an einem Ende frei und werden mit dem Multiplicator verbunden. Indem man nun sämmtlichen auf derselben Seite liegenden Löthstellen die gleiche Temperatur giebt, erhält man in allen Elementen Ströme in derselben Richtung, welche sich also summiren.

§. 76. Da der Widerstand einer solchen Thermosäule immer noch trotz der vielen Elemente ein sehr geringer ist,

so darf man in den Schliessungsbogen keine grossen Widerstände einschalten, wenn man starke Wirkungen erhalten will. Da nun die Ablenkungen der Tangentenbussole, Fig. 15, deren Widerstand allerdings, da sie nur aus einem zum Kreise gebogenen Kupferstreifen besteht, sehr gering ist, bei geringen Temperaturunterschieden zu klein ausfallen würden, so sieht man sich andererseits doch genöthigt, empfindlichere Messwerkzeuge anzuwenden. Man bedient sich zu dem Ende eigener Multiplicatoren mit astatischem Nadelpaar und sehr wenigen (50—100) Windungen eines dicken Kupferdrahtes, dessen Widerstand eben nicht sehr gross ist, so dass der Strom der Thermosäule nicht zu sehr geschwächt wird.

Sehr zweckmässig zu solchen Messungen ist aber auch die in Fig. 53 abgebildete Tangentenbussole mit Spiegelablesung, welche man zu diesem Zwecke mit besonderen Rollen von wenig Windungen eines dicken Drahtes versieht. Man kann auf diese Weise selbst mit einem einzigen Thermoelemente und sehr geringen Temperaturdifferenzen noch deutlich messbare Wirkungen erhalten.

Auf diese Weise ist es möglich, sich der Thermoströme zu Temperaturbestimmungen zu bedienen, indem man aus der Stärke der Ströme auf den Temperaturunterschied der Löthstellen schliesst. Wenn dann die eine Löthstelle (bezüglich die eine Seite der Thermosäule) auf bekannter constanter Temperatur erhalten wird, z. B. durch Eintauchen in Eiswasser, so kann man aus der Stärke des Stromes direct die Temperatur der andern Löthstelle berechnen. Bedient man sich hierbei des Thermomultiplicators, so muss man denselben vorher empirisch graduiren. Man bringt die eine Löthstelle nach und nach auf verschiedene Temperaturen, während die andere auf constanter Temperatur erhalten wird, z. B. durch Eiswasser, und notirt die jedesmalige Ablenkung der Nadel. Man erhält so eine Tabelle, aus welcher hervorgeht, wie gross die einer

bestimmten Temperaturdifferenz entsprechende Ablenkung ist. Bleiben die Versuche jedoch innerhalb der Grenzen, wo die Proportionalität der Stromstärken mit den Temperaturunterschieden gültig ist, so verfährt man folgender Maassen. Man hält beide Löthstellen auf constanter Temperatur, indem man z. B. die eine in schmelzendes Eis, die andere in kochendes Wasser taucht. Nun leitet man, wie wir dies schon mehrmals zu ähnlichen Zwecken gethan haben, von dem so erzeugten constanten Strom einen Bruchtheil durch den Multiplicator, indem man eine Nebenschliessung zu demselben anbringt, deren Widerstand ein bekannter Bruchtheil des Multiplicatorwiderstandes ist. Die Stärke des durch den Multiplicator gehenden Stromes lässt sich leicht nach den Kirchhoff'schen Formeln angeben (Vgl. §. 42). Indem man so nach und nach immer andere Bruchtheile des vollen Stromes durch den Multiplicator gehen lässt, und die betreffenden Ablenkungen notirt, kann man ihn sehr schnell und sicher graduiren.

Bedient man sich zur Strommessung der Spiegel-Tangentenbussole, so kann man die Stromstärken bekanntlich den an der Scala abgelesenen Ablenkungen direct proportional setzen. Es genügt daher, für eine bestimmte Temperaturdifferenz die Ablenkung zu bestimmen, um aus jeder anderen Ablenkung die vorhandene Temperaturdifferenz zu finden, vorausgesetzt natürlich, dass die Ablenkungen sehr klein bleiben, und dass die Proportionalität zwischen Stromstärke und Temperaturdifferenz gültig bleibt. Ist nun das Instrument für die Messung sehr kleiner Temperaturdifferenzen eingerichtet, so wird es für grössere, z. B. von 100° eine zu grosse Empfindlichkeit haben, es wird durch diese zu stark abgelenkt werden, um eine Messung zu gestatten. Es ist dann wiederum nöthig, nur einen kleinen Bruchtheil des starken Stromes durch das Instrument zu leiten, indem man eine passende Nebenschliessung zu demselben anbringt, und die hierbei beobachtete Ablenkung

mit der Verhältnisszahl der Schwächung zu multipliciren. Am einfachsten aber verfährt man so, dass man die beiden Löthstellen in zwei Gefässe mit Wasser oder Oel bringt, in diesen die Temperatur mit empfindlichen Thermometern möglichst sorgfältig bestimmt, und die dieser Temperaturdifferenz entsprechende Ablenkung misst, wodurch man natürlich auch jede andere Temperaturdifferenz aus der ihr entsprechenden Ablenkung berechnen kann.

§. 77. Bei der Anwendung der electrischen Temperaturbestimmung in der Physiologie und Pathologie hat man besonders darauf zu achten, dass die anzuwendenden Thermoelemente keine zu grosse Masse besitzen, damit sie schnell die Temperatur des zu messenden Theiles annehmen, und demselben keine ins Gewicht fallende Wärmemenge entziehen. Andererseits darf ihr Widerstand nicht zu beträchtlich sein. Je nach dem speciellen Zwecke giebt man den Elementen verschiedene Formen.

Handelt es sich einfach darum, zu untersuchen, ob an zwei Orten gleiche oder verschiedene Temperatur herrscht, beziehlich den vorhandenen Unterschied zu messen, so bedient man sich am besten nadelförmiger Elemente, welche man so in die Gewebe einsticht, dass die beiden Löthstellen an die betreffenden Orte zu liegen kommen. Solche Nadeln von mässiger Dicke kann man bekanntlich ohne Schaden in die Gewebe einführen. Macht man dieselben platt bandförmig, so lassen sie sich in faserige Gewebe, wie Muskeln, noch leichter ohne Schaden einführen und bieten einen möglichst geringen Widerstand. Man fertigt dieselben am besten aus Eisen und Neusilber, welche in der thermoëlectrischen Spannungsreihe sehr weit auseinander stehen, also kräftige Ströme geben. Die noch kräftiger wirkenden Metalle Antimon und Wismuth empfehlen sich nicht zu diesem Zweck, da sie zu

brüchig sind. Auch Nadeln von Eisen und Kupfer sind sehr zweckmässig, besonders wenn die zu messenden Temperaturunterschiede etwas grösser sind oder der Raum es gestattet, mehre Elemente zu combiniren. Man verbindet dann die hervorragenden Enden der Nadeln mit dem Thermomultiplicator oder der Spiegelbussole und berechnet aus der Ablenkung den Temperaturunterschied.

Nicht immer wird es jedoch möglich sein, eine Nadel, welche etwa aus einem Eisen- und zwei daran gelötheten Kupferdrähten besteht, so in die Gewebe einzuführen, dass die beiden Löthstellen an die Stelle zu liegen kommen, deren Temperatur gemessen werden soll. So z. B. wenn die Temperaturen in dem M. biceps bracchii jeder Seite mit einander verglichen werden sollten. Man zerlegt dann jedes Thermoelement in zwei Nadeln, von denen jede einfach aus zwei an einander gelötheten Drähten aus Eisen und Kupfer besteht. Senkt man in jeden Arm eine solche Nadel und verbindet die beiden Eisenenden mit einander durch einen beliebigen Draht, die beiden Kupferenden mit dem Multiplicator, so hat man offenbar ein zum Kreise geschlossenes Thermoëlement, in welchem der Strom in der wärmeren Löthstelle vom Eisen zum Kupfer gerichtet ist. Will man mehre Elemente säulenartig verbunden anwenden, so steckt man in jeden Arm eine gleiche Anzahl solcher Nadeln, verbindet immer die Eisenenden der gleichziffrigen mit einander, dagegen das eine Kupferende des ersten Nadelpaares mit dem einen Kupferende des zweiten u. s. f., während ein Kupferende der ersten und eines der letzten Nadel mit dem Multiplicator verbunden werden.

Zuweilen ist es nicht möglich, gerade Nadeln so durch das Gewebe zu stecken, dass die Löthstelle an den Ort kommt, dessen Temperatur gemessen werden soll. Man giebt dann den Nadeln eine andere Gestalt, so dass die Löthstelle endständig wird. Ein Kupfer- und ein Eisendraht werden parallel

neben einander gelegt, jedoch von einander isolirt bis auf die Enden der einen Seite, welche zusammengelöthet und zugespitzt werden, um sie in das Gewebe einstechen zu können. Zwei solcher Nadeln bilden natürlich ein Thermoëlement, dessen vier Enden passend mit einander und dem Multiplicator verbunden werden. Die in das Gewebe einzuführenden Nadeln müssen stets stark gefirnisst sein, damit nicht durch die Berührung der beiden Metalle mit den feuchten Geweben Ströme entstehen, von denen ein Bruchtheil durch den Multiplicator gehen und dort zu Täuschungen Veranlassung geben könnte.

Will man, wie es z. B. bei clinischen Beobachtungen der Fall sein könnte, die Thermonadeln nicht gern in den Körper einstechen, so kann man den Elementen die Form kleiner Plättchen geben, welche man mit ihren Löthstellen an die Haut andrückt, und mit schlechten Wärmeleitern bedeckt, damit sie vollkommen die Temperatur der Hautstelle annehmen. Man kann die Elemente zu dem Ende an passende Armbänder u. dgl. von Leder oder Wolle befestigen, so dass sie sich leicht unverschiebbar anlegen lassen.

§. 78. Kommt es nicht darauf an, Unterschiede der Temperatur zweier Orte zu messen, sondern die absolute Temperatur eines Ortes, so muss man die eine Löthstelle an diesen Ort bringen, die andere aber auf constanter und bekannter Temperatur erhalten. Am leichtesten geschieht dies durch Eintauchen in schmelzendes Eis oder kochendes Wasser. Bei physiologischen Versuchen nun, wo die zu messende Temperatur um 40° herum liegt, würde die Temperaturdifferenz sehr gross sein, man erhielte sehr starke Ströme, aber die Empfindlichkeit für kleine Aenderungen, auf welche es doch ankommt, würde sehr gering sein. Man muss daher der anderen Löthstelle eine Temperatur geben, welche der zu mes-

senden sehr nahe liegt. Am besten erreicht man dies durch Eintauchen in Oel oder Quecksilber, welche die ihm mitgetheilte Temperatur nicht schnell ändern, so dass sie während der kurzen Zeit, welche zur Beobachtung besonders mit der Spiegelbussole nöthig ist, als vollkommen constant angesehen werden kann. Man liesst die Temperatur des Oeles an einem eingetauchten empfindlichen Thermometer ab, und findet so durch Vergleichung die absolute Temperatur der anderen Löthstelle. Je weniger die beiden Temperaturen von einander verschieden sind, desto empfindlicher muss das Instrument sein, desto genauere Bestimmungen sind aber auch möglich. Natürlich muss das Thermoëlement beim Eintauchen in Quecksilber gut gefirnisst sein.

Handelt es sich nicht darum, die absolute Temperatur eines Ortes zu messen, sondern zu bestimmen, ob und um wie viel seine Temperatur sich in gewissen Zuständen ändert, z. B. ob in den Muskeln bei der Zusammenziehung Wärme entwickelt werde, so führt man die eine Löthstelle in das zu untersuchende Gewebe ein, die andere an einen Ort, welcher nahezu oder ganz dieselbe Temperatur hat. Im letzteren Falle besteht gar kein Strom im Kreise. Lässt man nun die Muskeln sich zusammenziehen, und wird dabei Wärme entwickelt, so muss die Nadel abgelenkt werden. Ist aber die Temperatur an den Löthstellen nicht gleich, so thut man am besten, den vorhandenen Strom erst zu compensiren, damit die Nadel auf Null stehe, wo sie jede Veränderung mit der grössten Empfindlichkeit anzeigt. Dieses Compensiren kann entweder mit Hülfe des Rheochords und eines Daniell-schen Elementes geschehen, wie wir dies in §. 65 kennen gelernt haben, oder man kann sich auch hierzu der Thermoströme bedienen. Zu dem Ende schaltet man in den Kreis eine Thermosäule ein, stellt vor das eine Ende derselben einen Metallschirm und dahinter einen mit warmem Wasser gefüllten

Würfel. Indem man den Metallschirm vorsichtig fortschiebt, kann man die eine Seite der Thermosäule gerade so stark durch Bestrahlung erwärmen, dass die Nadel des Multiplicators auf Null steht.

Für die Muskeln werden die Versuche noch einfacher, wenn man die Löthstellen abwechselnd in zwei verschiedene Muskelgruppen einführt und dann die eine Gruppe zur Contraction bringt. Eine solche Versuchsreihe machte Becquerel und nach ihm Helmholtz über die Wärmeentwickelung bei der Muskelcontraction. Helmholtz führte drei bis sechs platte Nadeln aus Eisen und Neusilber quer durch die Oberschenkelmuskeln von Fröschen, so dass die sechs einen Löthstellen in dem einen, die sechs anderen in dem anderen Schenkel steckten. Die Nadeln wurden so verbunden, dass der Strom bei Erwärmung des einen Schenkels durch alle Nadeln in gleicher Richtung gehen musste. Eine Compensation wurde nicht angewandt, sondern er wartete ab, bis die Schenkel gleiche Temperatur hatten. Wurde nun der eine Schenkel von seinen Nerven aus in Tetanus versetzt, so zeigte der Thermomultiplicator eine Ablenkung, welche einer Temperaturerhöhung um $0^0,14$ bis $0^0,18$ C. entsprach.

Heidenhain hat diese Versuche wieder aufgenommen, und indem er sich einer ganz kleinen Thermosäule von Antimon- und Wismuthstäben bediente, an welche der Muskel seitlich angelegt wurde, gelang es ihm, selbst die Wärmebildung bei einer einzigen Musckelzuckung zu bestimmen. Dieselbe betrug 0,001 bis 0,005 Cm. Auch für andere physiologische und pathologische Untersuchungen, wo es nicht auf absolute Temperaturbestimmungen, sondern nur auf Unterschiede in der Temperatur zweier verschiedener Orte ankommt, ist die Thermoelectricität mit Vortheil angewandt worden. So z. B. zur Entscheidung der Frage, ob das Blut im linken Herzen kälter sei, als im rechten; ob in den Geweben bei der

Entzündung mehr Wärme gebildet werde, als in der Norm u. dgl. Zu diesem Behufe genügt es, die Löthstellen einfach an die Orte zu bringen, deren Unterschied gemessen werden soll. Die gefundene Ablenkung giebt dann ein directes Maas des gesuchten Unterschiedes.

§. 79. Eine andere wichtige Anwendung der Thermosäulen ist die zur Untersuchung der Wärmeabsorption, z. B. in den Augenmedien. Stellt man auf die eine Seite einer Thermosäule eine constante Wärmequelle, z. B. einen Metallwürfel, in welchem Wasser im Kochen erhalten wird, so wird die Thermosäule durch Bestrahlung erwärmt, und giebt, wenn man die andere Seite der Säule auf constanter Temperatur erhält, einen constanten Strom. Je näher der Bestrahlungswürfel der Säule steht, desto grösser ist die Erwärmung, welche bekanntlich im umgekehrten Verhältniss des Quadrates der Entfernung geschieht. Schaltet man nun in den Gang der Wärmestrahlen die Augenmedien ein, so wird ein Theil der Wärmestrahlen absorbirt, und die Nadel zeigt eine andere Ablenkung als vorher. Aus dem Unterschied der beiden Ablenkungen lässt sich die Menge der absorbirten Wärme berechnen. Noch genauer geschieht dies, wenn man den beiden Seiten der Thermosäule zwei gleiche Wärmequellen in gleicher Entfernung gegenüber stellt, so dass kein Strom im Multiplicator entstehen kann, oder auch, wenn man die Bestrahlung auf der einen Seite mit Hülfe eines Schirmes regelt und so den Strom compensirt, wie im vorigen Paragraph angegeben wurde. Auf diese Weise kann man die Absorption mit vieler Schärfe messen.

Brücke und Jansen, welche derartige Versuche ausgeführt haben, fanden beide, dass die Absorption der strahlenden Wärme durch die Augenmedien eine sehr starke ist, und man kann dies als Erklärung benutzen für den Umstand,

dass ein grosser Theil des Spectrums, nämlich der, welcher die Strahlen enthält, die weniger brechbar sind als Roth, von unserer Netzhaut nicht wahrgenommen wird. Denn unter gewöhnlichen Umständen wird in der That vermöge der starken Absorption von diesen Strahlen kaum ein merklicher Bruchtheil bis zur Netzhaut gelangen können.

Capitel XII.

Von der Anwendung der Electricität zu Heilzwecken.

---

§. 80. Die physiologischen Wirkungen der Electricität sind so bedeutende, dass ihre Anwendung als Heilmittel schon seit den ersten Zeiten, wo man ihre Wirkungen kannte, versucht worden ist. Aber erst in neuester Zeit hat dieser Zweig der Medicin durch das genauere Studium der physiologischen Wirkungen der Electricität und durch die Vervollkommnung der Apparate und Methoden eine sichere Grundlage erhalten.

Die ruhende, statische Electricität ist keiner physiologischen Wirkungen fähig; nur die bewegte, in Form des electrischen Stromes auftretende kann solche zeigen. Diese physiologischen Wirkungen des Stromes zeigen sich bei ihrem Durchgange durch Nerven und Muskeln. Ausserdem aber entwickelt der electrische Strom natürlich in allen Geweben seine physikalischen Wirkungen, Electrolyse u. s. w. Sowohl die eigentlich physiologischen als die allgemein physicalischen Wirkungen können zu Heilzwecken benutzt werden.

Die physiologischen Wirkungen der Electricität auf Muskeln und Nerven sind entweder e r r e g e n d e oder m o d i f i c i r e n d e. Werden Muskeln und Nerven der Einwirkung gewisser Agentien ausgesetzt, so gerathen sie in den Zustand der T h ä t i g k e i t, welcher sich im Muskel als Zusammen-

ziehung äussert, im Nerven eine äusserlich nicht sichtbare innere Molecularbewegung darstellt, welche sich im Nerven fortpflanzt und wenn sie im motorischen Nerven zum Muskel, im sensiblen zum nervösen Central-Organ gelangt, diese Gebilde zur Thätigkeit anregt. Diese Thätigkeit ist im Muskel wiederum Zusammenziehung, im Central-Organ des sensiblen Nerven Empfindung, und zwar je nach der Natur des Nerven entweder Schmerzempfindung oder specifische Sinnesempfindung.

Alle Agentien, welche, auf die Muskeln und Nerven wirkend, diese zur Thätigkeit veranlassen, nennt man Reize. Der electrische Strom nimmt unter den Reizen eine hervorragende Stellung ein, wegen der Leichtigkeit seiner Anwendung und der Möglichkeit genauer Abstufung seiner Stärke. Aus denselben Gründen empfiehlt er sich auch zur Anwendung in der practischen Medicin in allen Fällen, wo es darauf ankommt, reizend oder erregend auf Muskeln und Nerven zu wirken, sie zur Thätigkeit anzuregen.

Der electrische Strom wirkt jedoch nicht in allen Fällen gleich erregend auf Nerven und Muskeln. Leitet man einen constanten Strom durch dieselben, so geschieht nur eine schwache oder gar keine Erregung. Wenn aber der Strom eine plötzliche Veränderung seiner Stärke erfährt, so wirkt er stark erregend. Dies ist z. B. der Fall, wenn man den constanten Strom schliesst und öffnet. Man sieht dann jedesmal eine starke Zuckung der Muskeln und fühlt einen lebhaften Schmerz, während bei der gleichmässigen Dauer des Stromes der Schmerz weniger intensiv ist und oft gar keine Muskelcontractionen auftreten.

Um daher mit Hülfe des electrischen Stromes starke Erregung zu bewirken, muss man die electrischen Ströme nicht in constanter Stärke durch die Muskeln oder Nerven leiten, sondern ihre Stärke recht oft wechseln lassen. Noch besser

aber thut man in diesem Falle, sich solcher Ströme zu bedienen, welche gar nicht constant sind, sondern nur kurze Zeit dauern, während dieser Zeit zu einer gewissen Stärke anwachsen und dann sogleich wieder abnehmen. Leitet man einen solchen Strom durch Muskel oder Nerv, so erfolgt nur eine einzelne Erregung, deren Stärke von der Stärke und Dauer jenes Stromes abhängt; lässt man aber viele solche Ströme hintereinander durch den Nerven gehen, so erhält man eine dauernde Erregung.

Solche kurzdauernde Ströme sind die durch statische Electricität erzeugten Ströme der Leydener Flasche, die Ströme der in §. 12 beschriebenen Influenzmaschiene und die durch Induction erzeugten. Die Anwendung der ersteren ist umständlich und unbequem, auch ist es schwer, sie richtig abzustufen. Die Anwendung der Influenzmaschiene in der Electrotherapie ist noch nicht hinreichend erprobt, um ein Urtheil zu gestatten, ob dieselbe erhebliche Vortheile bietet. Dagegen leisten die Inductionsströme im höchsten Maasse Alles, was hier verlangt wird, besonders, wenn der Apparat gestattet, nach Belieben schwache und starke Ströme anzuwenden, sie mit grösserer oder geringerer Schnelligkeit sich folgen zu lassen u. s. f. Alles dieses leistet auf das Vollkommenste der Schlittenmagnetelectromotor von du Bois-Reymond, welcher oben §. 56 beschrieben und Fig. 41 abgebildet ist. Derselbe verdient daher auch vor allen anderen Apparaten ähnlicher Art den Vorzug für die Anwendung in der Praxis.

Die Stärke der Erregung, welche man mit diesem Apparat erzielen kann, hängt ab von der Stärke der Inductionsströme, welche er liefert, und ihrer Dauer. In letzterer Beziehung haben wir schon gesehen, dass ein bedeutender Unterschied besteht zwischen dem Strom, welcher bei der Schliessung des primären Stromes in der secundären Rolle entsteht, und dem-

jenigen, welcher bei der Oeffnung erzeugt wird. Indem der letztere eine viel kürzere Dauer hat, wirkt er viel energischer erregend, als der Schliessungsinductionsstrom. Die absolute Stärke beider Ströme aber kann durch Verschiebung der secundären Rolle beliebig abgestuft werden.

§. 81. Bei der practischen Anwendung des Magnetelectromotors hat man entweder den Zweck, auf die Muskeln zu wirken, oder auf die sensiblen Nerven. Es ist das grosse Verdienst Duchenne's, die Methoden ausgebildet zu haben, durch welche es möglich ist, diese Wirkungen getrennt vorzunehmen, ausserdem aber auch die Wirkung der Electricität auf einzelne Muskeln und Muskelgruppen zu beschränken. Duchenne nennt dies faradisation localisèe. (Der Name ist abgeleitet von Michel Faraday, dem berühmten Entdecker der Inductionsströme, und soll bedeuten Erregung durch Inductionsströme). Duchenne selbst waren die physicalischen Principien seiner Methode nicht durchweg klar. Seine Angaben enthalten daher zum Theil Unwesentliches, nur von den zufälligen Bedingungen seiner Apparate Abhängiges, welches man von dem wesentlichen Kern durchaus trennen muss.

Setzt man zwei mit den Enden der Inductionsspirale verbundene Leiter an zwei Punkten des Körpers auf, so nehmen die Ströme ihren Weg durch den Körper, nach den Gesetzen der Stromvertheilung in unregelmässig gestalteten Leitern, wie wir sie in §. 47 kennen gelernt haben. Es wird dann der ganze Körper von Stromescurven erfüllt, welche alle in den beiden Punkten zusammenlaufen, wo die Leiter (Electroden) auf der Körperoberfläche aufstehen. Die Stärke der Ströme ist nicht in allen diesen Bahnen die gleiche, sondern am grössten in der geraden Verbindungslinie der beiden Electroden und dann immer abnehmend im umgekehrten Verhältniss der Länge der Curven. Legt man irgendwo im Kör-

per einen Querschnitt senkrecht auf die Stromcurven, so ist die durch denselben fliessende Electricitätsmenge überall dieselbe. Aber diese Electricitätsmenge fliesst in unmittelbarer Nähe der Electroden durch einen Querschnitt von viel geringerer Ausdehnung, als an irgend einer anderen Stelle. Denn in der Nähe der Electroden sind sämmtliche Stromescurven auf einen engen Raum zusammengedrängt. Hier also erlangt die Electricität ihre grösste Dichte, diese wird geringer zwischen den beiden Electroden, noch geringer in grösserer Entfernung von denselben, ausserhalb der sie verbindenden Geraden.

Nun ist es aber die Stromdichte, von welcher die Grösse der physiologischen Wirkung abhängt. Wenn also die Inductionsströme auf die bezeichnete Art durch den Körper geleitet werden, so wird ihre Wirkung nicht überall die gleiche sein können, sondern sie wird am grössten sein, in unmittelbarer Nähe der beiden Electroden, kleiner zwischen denselben, am kleinsten ausserhalb der geraden Verbindungslinie, und zwar mit der Entfernung von den Electroden sehr schnell abnehmend. Leiten wir nun auf die bezeichnete Art Inductionsströme durch den Körper, welche so schwach sind, dass sie nirgends eine Wirkung ausüben, auch da nicht, wo ihre Dichte am grössten ist, und verstärken nun die Ströme allmählich durch Annähern der secundären Spirale an die primäre, so wird die Stromstärke und also auch die Stromdichte an allen Punkten des Körpers wachsen, am schnellsten aber an den Electroden selbst. Es wird daher endlich ein Punkt erreicht werden, wo sie in der Nähe der Electroden gerade die nöthige Dichte erreicht hat, um die dort gelegenen erregbaren Gebilde zu erregen, während alle anderen Gebilde noch unerregt bleiben. Steigert man nun die Stromstärke noch mehr, so wird man auch die zwischen den Electroden befindlichen Gebilde erregen können; was aber ausserhalb derselben liegt, wird

noch in Ruhe bleiben; und nur bei sehr starken Strömen würde es möglich sein, auch diese in grösserer oder geringerer Ausdehnung, je nach der Nähe an den Electroden mit in Erregung zu versetzen.

§. 82. Man sieht also, wie es möglich ist, die Wirkung der electrischen Ströme zu localisiren, auf bestimmte einzelne Gebilde zu beschränken, trotzdem die Electricität alle Wege einschlägt, welche ihr offen stehen, stets den ganzen Körper mit Stromescurven erfüllt. Nun aber liegen da, wo die Electricität die grösste Dichte hat, dicht unterhalb der Electroden, zunächst die Endigungen sensibler Nerven in der Haut und dann je nach Umständen Muskeln oder motorische Nerven. Diese werden dann von der Erregung betroffen, Es ist aber höchst wünschenswerth, die sehr schmerzhafte Erregung der sensibelen Nerven zu vermeiden, wenn es nur darauf ankommt, Muskeln zur Contraction zu bringen; und umgekehrt die Muskeln in Ruhe zu lassen, wo man nur auf die sensiblen Nerven zu wirken beabsichtigt. Auch hierzu hat Duchenne die Wege gebahnt.

Setzt man nämlich als Electroden zwei Drähte oder Metallplatten auf die Haut, so müssen die Ströme, um zu den darunter liegenden Muskeln oder Nerven zu gelangen, erst die Epidermis durchsetzen. Nun bietet aber diese einen ungeheuren Widerstand dar, ja es ist sogar wahrscheinlich, dass die trockene Epidermis an sich gar nicht leitet, sondern dass in diesem Falle die Electricität ihren Weg nur durch die Schweisskanälchen nimmt. Durch diesen ungeheuren Widerstand nun werden die Ströme bedeutend geschwächt, und es ist daher schwer, auf diese Weise die unter der Haut gelegenen Muskeln und Nerven zu erregen. Denn sobald die Ströme die Haut durchdrungen haben, breiten sie sich in den darunter gelegenen verhältnissmässig gut leitenden Massen

nach allen Richtungen aus, und erlangen bei ihrer Schwäche nirgends die zur Erregung nöthige Dichte. In der Haut selbst dagegen sind die Ströme in sehr engen Bahnen zusammengedrängt, hier ist ihre Dichte am grössten. Sobald sie nun die Epidermis durchdrungen haben, treffen die Ströme gerade auf die sensiblen Nerven der Cutis. In diesen müssen sie natürlich am leichtesten Erregung bewirken. Man erhält daher die lebhafteste Schmerzerregung ohne Muskelzusammenziehung.

Besteht die eine Electrode (an der anderen sind die Verhältnisse natürlich dieselben, weshalb wir nur eine einzige betrachten wollen) aus einem Drahte, so würden die Ströme auch nur in einem Puncte die Epidermis durchbrechen. Wir können das Schweisskanälchen oder was sonst den Weg durch die Epidermis für den electrischen Strom darstellt, gleichsam als eine Verlängerung des angelegten Electrodendrahtes ansehen, ähnlich als wäre dieser an seinem Ende nadelförmig zugespitzt, und die Spitze durch die Epidermis durchgesteckt. Von dieser Spitze aus, d. h. von dem Puncte, wo der Strom eben in das Corium eintritt, breiten sich also die Stromescurven nach allen Richtungen aus; an diesem Puncte wird daher die Stromdichte sehr gross sein und an diesem Puncte wird heftige Schmerzerregung stattfinden. Wenden wir aber statt des Drahtes eine Platte an, welche möglichst eng an die Oberfläche der Epidermis sich anschliesst, so wird der Durchgang der Ströme durch die Epidermis an vielen Puncten stattfinden. Nun ist aber der Widerstand der Epidermis so gross, dass wir den Widerstand der Inductionsrolle und des sonst im Kreise befindlichen Theiles des Körpers dagegen als unendlich klein ansehen können. Die Stromstärke wird daher nur bedingt sein durch den Widerstand der Epidermis. An je mehr Puncten nun der Strom die Epidermis durchbricht, um so grösser ist die absolute Stärke des Stromes. An jedem ein-

zelnen Puncte aber, an welchem der Strom die Epidermis durchbricht, wird die Stromdichte dieselbe Grösse erlangen, als vorher bei Anwendung eines Drahtes als Electrode an diesem einen Puncte (Vgl. §. 47). Und an jedem dieser Puncte wird der Strom unmittelbar bei seinem Eintritt in das Corium eine sehr grosse Dichte haben, von da aber sich sofort nach allen Richtungen ausbreiten, derart, dass an jenen Puncten eine starke Erregung sensibeler Nerven möglich ist, während die Wirkung an anderen Stellen unmerklich ist. Handelt es sich daher um Erregung der sensibelen Nerven gewisser Hauptpartieen, so wird man sich nicht eines einzelnen Drahtes als Electrode bedienen, sondern besser einer metallenen Platte. Noch besser aber ist es, die Electrode in einen Pinsel von feinen Metalldrähten auslaufen zu lassen, wie dies Duchenne eingeführt hat. Denn ein solcher Pinsel berührt die Haut viel gleichmässiger, als eine starre Platte. Jeder der feinen Drähte giebt dann einen Eintrittspunct für die Electricität ab, an welchem die Dichte sehr gross ist, wodurch also eine beträchtliche Erregung sämmtlicher Gefühlsnerven im Bereiche des Pinsels bewirkt wird.

Hierbei ist vorausgesetzt worden, dass beide Electroden aus Drähten, Platten oder Pinseln bestehen. Dann findet die Erregung auch an beiden statt. Da aber der Widerstand der Epidermis dabei ausserordentlich gross ist, so bedarf es sehr starker Inductionsströme, um merkliche Wirkungen zu erzielen; und dabei kommt es auch vor, dass bei nahe neben einander aufgesetzten Electroden und sehr trockener Epidermis die entgegengesetzten Electricitäten sich in Funken an der Oberfläche der Epidermis mit einander verbinden, und so gar keine Erregung zu Stande kommt. Sind aber die Electroden weiter von einander entfernt, und die Inductionsströme nicht hinreichend kräftig, so kann es vorkommen, dass durch den doppelten Widerstand der beiden Epidermisstellen die Strom-

stärke so sehr verringert wird, dass sie nicht ausreicht, überhaupt eine genügende Erregung zu bewirken. In diesem Falle kommt es darauf an, den Widerstand zu verringern. Dies erreicht man nun dadurch, dass man die eine Epidermisstelle gut durchfeuchtet und der auf sie aufzusetzenden Electrode die Gestalt einer grossen mit einem feuchten Schwamme überzogenen Platte giebt. Der Schwamm hat den Vortheil, die Epidermis feucht zu erhalten und sich der Oberfläche gut anzuschmiegen. In Folge der Durchfeuchtung wird die Epidermis ein besserer Leiter der Electricität, besonders wenn man sich zum Durchfeuchten einer gut leitenden Flüssigkeit bedient, z. B. schwach angesäuerten Wassers oder einer Kochsalzlösung, welche man noch erwärmen kann, um ihr Leitungsvermögen zu erhöhen (Vgl. §. 36 und 37). Da nun die trockene Epidermis so schlecht leitet, dass man den Widerstand des übrigen Theiles des Kreises als unendlich klein ansehen kann, so wird offenbar bei Anwendung einer solchen feuchten Electrode der Widerstand des Kreises nur halb so gross sein, als bei Anwendung zweier Pinsel. Dadurch steigt also die Stromstärke und folglich auch die Dichte an dem Pinsel, auf das Doppelte, und die Erregung der sensiblen Nerven wird hier sehr verstärkt. An der feuchten Electrode aber ist der Strom jetzt nicht auf einzelne fadenförmige Bahnen beschränkt, sondern durchsetzt die aufgeweichte Epidermis auf einer breiten Bahn. Auf dieser aber ist die Stromdichte wegen des grossen Querschnittes so gering, dass hier gar keine Erregung der sensiblen Nerven stattfindet.

§. 83. Ersetzt man nun aber auch die andere Electrode durch eine mit einem Schwamme überzogene Platte, und durchfeuchtet den Schwamm und die Epidermis an der Aufsetzungsstelle, so wird der Widerstand noch kleiner, die Stromstärke wächst, und es gelingt nun, die tiefer gelegenen Muskeln und

Nerven zu erregen, während in der Haut selbst die Stromdichte bei richtiger Wahl der Stromstärke so gering ist, dass sie keinen oder nur unbedeutenden Schmerz erregt. Die Erregung wird nach dem oben gesagten am stärksten sein in unmittelbarer Nähe der Electroden. Besteht nun die eine Electrode aus einer grossen Platte, ist aber die andere kleiner, z. B. ein mit Schwamm überzogener Metallknopf, so wird an dieser letzteren die Stromdichte viel grösser sein, als an der ersteren, die Erregung wird an dieser stärker sein, und bei richtiger Wahl der Stromstärke an dieser allein stattfinden.

Nach diesen Auseinandersetzungen ist es leicht einzusehen wie man zu verfahren hat, um je nach Belieben eine Erregung der sensiblen Nerven der Haut, oder der Muskeln zu bewirken, und im letzteren Falle einen einzelnen Muskel isolirt zur Zusammenziehung zu bringen. Will man auf die Hautnerven wirken, so wird man der einen Electrode die Gestalt einer grossen mit Schwamm überzogenen Platte geben und dieselbe irgendwo auf die wohldurchfeuchtete Haut aufsetzen. Als zweite Electrode aber wird man einen Metallpinsel anwenden, welchen man auf die zu reizende trockene Hautpartie aufsetzt. Indem man diesen leicht über die Haut hinführt, kann man nach und nach beliebig grosse Hautstrecken einer heftigen Erregung aussetzen, ohne dass ein einziger Muskel sich zusammenzieht. — Will man dagegen auf einen Muskel wirken, so wird man die eine Electrode wiederum eine grosse mit Schwamm überzogene Platte sein lassen, welche man auf die wohldurchfeuchtete Haut in der Nähe des zu erregenden Muskels aufsetzt. Als zweite Electrode aber wird man einen kleineren Schwamm anwenden, welchen man auf die wohldurchfeuchtete Haut über dem zu erregenden Muskel oder noch besser über dem zum Muskel gehörigen Nerven aufsetzt.

§. 84. Dieser letztere Umstand ist besonders beherzigenswerth. Setzt man nämlich die Electrode auf den Muskel selbst auf, so werden zwar die unmittelbar unter der Electrode gelegenen Fasern des Muskels direct von Strömen grösserer Dichte gereizt; in den übrigen Partieen aber ist die Reizung schwächer und man erhält daher eine kräftige Zusammenziehung des ganzen Muskels nur bei Anwendung stärkerer Ströme. Setzt man dagegen die eine Electrode auf den Nerven auf, so bringt die Erregung desselben sogleich eine kräftige Zusammenziehung des ganzen Muskels hervor. Ja die Stromdichte braucht dazu sogar im Nerven nur eine sehr viel geringere zu sein, als sie im Muskel selbst sein müsste, um ihn zu einer gleich starken Zusammenziehung zu bringen, weil die Erregbarkeit der Nervenstämme sehr viel grösser ist, als die der Muskeln selbst und der in ihnen verbreiteten intramuscularen Nerven.

Duchenne fand zuerst, dass gewisse Punkte am Körper besonders günstig seien für die Aufsetzung der einen Electrode, wenn man einzelne Muskeln zur Znsammenziehung bringen wolle, und nannte diese „Wahlpunkte." Remak wies darauf hin, dass diese „motorischen Puncte," wie er sie nennt, Nichts seien, als die Eintrittsstellen der Nerven in die Muskeln. Ziemssen hat dies bestätigt und die Punkte genauer bezeichnet, an welchen man die eine Electrode aufsetzen muss, um die einzelnen Muskeln zu erregen. Vgl. Ziemssen: Die Electricität in der Medicin. 3. Aufl. Berlin 1865. Mit vielen Abbildungen der motorischen Punkte.

Die Frage, wo man die zweite grössere Electrode aufzusetzen habe, ist im Allgemeinen dahin zu beantworten, dass sie möglichst nahe der anderen anzubringen sei, damit der Widerstand der zwischen beiden enthaltenen Körperstrecke möglichst klein werde. Diese Rücksicht ist bei Erregung der sensiblen Nerven mittelst des Pinsels von geringerer Bedeutung, weil hier alle übrigen Widerstände gegen den ungeheuren der trockenen Epidermis gar nicht in Betracht kommen; bei der Erregung der Muskeln aber ist sie wichtig. Je geringer man

hier den Widerstand macht, desto besser. Daher thut man gut, die grössere Electrode auf den zu erregenden Muskelbauch selbst nahe der anderen Electrode aufzusetzen. Je günstiger man die Verhältnisse wählt, desto schwächere Ströme wird man anwenden können, desto leichter ist es dann aber auch, kräftige Muskelzusammenziehungen zu erlangen, ohne Schmerzen zu erregen.

Nach dem Vorhergehenden wird es leicht sein, das Verfahren abzuleiten, welches bei der Erregung grösserer Muskelgruppen zu befolgen ist. Man wird dann die Electroden so aufsetzen müssen, dass die Ströme in dem jene Muskeln versorgenden Nervenstamme eine möglichst grosse Dichte erlangen und man wird dazu eine Stelle wählen, wo der betreffende Nervenstamm möglichst günstig gelegen ist, womöglich nur von der Haut und der oberflächlichen Fascie bedeckt. Wo dies nicht der Fall ist, gelangt man oft zum Ziele, indem man die Electrode fest andrüekt und so den Ort der grössten Stromdichte in die Tiefe in die Nähe des Nerven verlegt. So z. B. kann man den Phrenicus kräftig erregen, wenn man die eine (kleinere) Electrode am hinteren Rande des M. sternocleidomastoideus etwas unter der Mitte seines Verlaufes fest eindrückt. Die andere Electrode setzt man dabei etwa in der Fossa supraclavicularis auf. Oder auch man bedient sich zweier kleinen Electroden, welche man jederseits an der bezeichneten Stelle tief eindrückt, und erregt so beide Phreniei zugleich. Es versteht sich übrigens von selbst, dass wenn der solcher Gestalt erregte Nervenstamm ein gemischter ist, die gleichzeitige Schmerzerregung nieht umgangen werden kann, welche dann nach dem Gesetz der excentrischen Empfindungen in den peripherischen Endausbreitungen der erregten sensiblen Nervenfasern wahrgenommen wird.

Schliesslich bleibt uns noch eine Bemerkung übrig in Betreff der Richtung der Ströme. Dass diese bei den indu-

cirten Strömen der secundären Spirale eine wechselnde ist, haben wir im §. 50 gesehen. Da aber der Oeffnungsstrom als der schneller verlaufende stärker erregend wirkt, so kommt seine Richtung hauptsächlich in Betracht. Die physiologischen Versuche haben nun gezeigt, dass unter sonst gleichen Umständen die Reizung durch die Inductionsströme an der negativen Electrode, d. h. dort, wo der Strom aus dem Körper austritt, stärker ist, als an der positiven. Man thut daher gut, die kleinere Electrode, an welcher ja hauptsächlich die Erregung stattfinden soll (beziehlich bei Erregung der sensiblen Nerven den Pinsel) mit dem Ende der Inductionsspirale zu verbinden, welches bei dem Oeffnungs-Inductionsstrom die negative Electrode wird. Da es aber nicht leicht ist, an dem fertigen Magnetelectromotor zu sehen, wie die Ströme in demselben gerichtet sind, so muss man dies ein für alle Mal durch den Versuch feststellen. Man kann sich dazu der Jodkaliumelectrolyse bedienen. Man verbindet nämlich die Enden der secundären Spirale mit zwei Platindrähten, welche man nahe neben einander auf angefeuchtetes Fliesspapier aufsetzt, das mit Jodkaliumstärkekleister getränkt ist. Dann leitet man den Oeffnungsstrom durch das Papier, indem man den schon vorher geschlossenen primären Strom öffnet. (Die Feder wird dabei festgestellt, damit sie nicht spiele.) Am positiven Pole entsteht durch das ausgeschiedene Jod ein blauer Fleck. Beim Gebrauche des Apparates muss natürlich der primäre Strom stets dieselbe Richtung haben, wie in diesem Versuch. Man mache sich daher zur Regel, stets die Klemme a (Fig. 41) mit dem Zink, die Säule g mit dem Platin oder Kupfer zu verbinden.

Zum Ingangsetzen des Magnetelectromotors bedient man sich am besten eines Daniell'schen Elementes, welches vollkommen genügt, hinreichend starke Inductionsströme zu erzeugen. Zwei dergleichen Elemente hintereinander anzuwen-

den, bietet gar keinen Vortheil, da bei dem geringen Widerstande der primären Spirale dadurch gar keine Stromverstärkung erzielt wird (Vgl. §. 38). Im Gegentheil thut man vielmehr gut, dem Elemente etwas grössere Dimensionen zu geben, als diese gewöhnlich zu haben pflegen, damit sein Widerstand möglichst gering sei. Sollte man in einzelnen Fällen mit den so erzeugten Strömen nicht ausreichen, so müsste man ein Grove'sches oder Bunsen'sches Element anwenden, welches man aber in einem gut schliessenden, innen mit Glas ausgelegten Kasten aufzustellen hätte, um nicht die Kranken durch die Dämpfe zu belästigen. Noch besser wäre es, das Element in einem Nebenzimmer oder vor dem Fenster zu haben und die Drähte durch die Wand hindurch zu dem Apparat zu führen.

§. 85. Duchenne empfiehlt, sich bei der Erregung der Muskeln lieber des in der primären Rolle erzeugten Extrastromes, bei der Erregung der sensiblen Nerven lieber der in der secundären Spirale erzeugten Inductionsströme zu bedienen. Wenn Duchenne glaubt, dass eine Verschiedenheit zwischen beiden Arten von Inductionsströmen bestehe, vermöge deren der Extrastrom geeigneter sei, die Muskeln, die Ströme der secundären Spirale geeigneter, die sensiblen Nerven zu erregen, so ist dies ein Irrthum. Alle Ströme, sie mögen erzeugt sein, auf welche Weise immer, sind ihrer Natur nach stets gleich. Verschiedenheiten der physiologischen Wirkung können stets nur veranlasst sein durch Verschiedenheiten der Stärke und der Geschwindigkeit, mit der sich diese ändert. Der Grund der Verschiedenheit, welche Duchenne beobachtete, ist aber nur in zufälligen Umständen zu suchen, welche in dem Bau seines Apparates begründet sind. Die secundäre Spirale des Duchenne'schen Apparates besteht nämlich aus sehr zahlreichen Windungen eines ausserordent-

lich dünnen Drahtes. Mit der Zahl der Windungen wächst natürlich die electromotorische Kraft des in ihr erzeugten Inductionsstromes, mit der Länge und Dünne des Drahtes wächst aber auch ihr Widerstand. Dieser ist daher bei dem Duchenne'schen Apparate ein sehr beträchtlicher. Benutzt man die secundäre Rolle zur Erregung der sensiblen Nerven, so kommt dieser Widerstand gegen den noch viel grösseren der trockenen Epidermis nicht so sehr in Betracht, man erhält eine kräftige Erregung. Dahingegen ist dieser Widerstand von sehr erheblichem Einfluss auf die Stromstärke, wenn es sich darum handelt, Muskeln zu erregen. Denn indem man in diesem Falle durch die Anwendung der feuchten Electroden den Widerstand im menschlichen Körper herabsetzt, bleibt doch der Widerstand der Inductionsspirale so gross, dass der Strom keine erhebliche Stärke erreichen kann. Die ungeheure Windungszahl der secundären Spirale schadet aber in diesem Falle mehr, als durch die Vermehrung der inducirenden Wirkung gewonnen wird. Benutzt man dagegen den Extrastrom zur Erregung der Muskeln, so bekommt man kräftige Wirkungen, da jetzt bei dem geringeren Widerstande des eingeschalteten Körpertheiles selbst bei geringerer inducirender Wirkung die Ströme schon hinreichend stark werden.

Alle diese Verhältnisse kommen nun bei dem zweckmässiger gebauten Apparate von du Bois-Reymond in viel geringerem Grade in Betracht, weil bei diesem die secundäre Rolle gar nicht so viele Windungen hat, als bei dem Duchenne'schen. Ihr Widerstand ist daher viel geringer, und sie schwächt die Ströme nicht in so hohem Grade. Bei diesem Apparate hat es daher gar keinen Sinn, sich des Extrastromes zu bedienen, welcher wegen der geringen Windungszahl der primären Rolle stets schwächer ist. Ganz falsch aber ist es, dies dadurch gut machen zu wollen, dass man beide Rollen durch Drähte zu einer einzigen verbindet, wie Manche

anrathen. Denn dadurch schwächt man den primären Strom der Kette, von dessen Stärke doch wieder die Stärke des inducirten Extrastromes abhängt. Man ist dann genöthigt, eine stärkere Kette, z. B. ein Bunsen'sches Element, anzuwenden und erreicht nicht mehr, als man auch mit einem Daniell-schen Elemente und Benutzung der secundären Ströme erreichen kann. Ja sogar man verzichtet auf die Möglichkeit der bequemen Abstufbarkeit dieser Ströme, welche durch die Verschiebung der Rollen gegen einander gegeben ist.

Dahingegen wäre man genöthigt, sich des Extrastromes zu bedienen, wenn aus irgend einem Grunde die Anwendung abwechselnd gerichteter Inductionsströme, wie sie die secundäre Rolle liefert, contraindicirt sein sollte. In diesem Falle entfernt man die secundäre Spirale ganz und schaltet den Körper als Nebenschliessung zur primären Spirale ein, zu welchem Zwecke an dem in Fig. 41. dargestellten Magnetelectromotor noch zwei mit der Spirale verbundene Klemmen angebracht sind, von denen die eine in der Fig. bei d sichtbar ist.

Die Anwendung der magneto-electrischen Rotationsapparate ist seit der Verbesserung der volta-electrischen Inductionsapparate oder Magnetelectromotoren fast ganz ausser Gebrauch gekommen. Dennoch haben sie vor letzteren den grossen Vortheil der Transportabilität. Zwar hat man auch transportable Inductionsapparate letzterer Art angegeben; bis jetzt aber sind diese noch ziemlich mangelhaft. Die von Siemens angegebenen Verbesserungen an den Rotationsapparaten, von welchen oben S. 127 die Rede war, werden ihre Wiedereinführung in die Electrotherapie wahrscheinlich zur Folge haben.

Es bleibt uns noch übrig, einige Worte über die Anwendung der durch Reibungselectricität erzeugten Ströme für therapeutische Zwecke zu sagen. Seit der Einführung der Inductionsapparate fast ganz verdrängt, sind dieselben in neuerer Zeit wieder empfohlen worden, seitdem durch die

Holtz'sche Influenzmaschiene, welche wir in §. 12 beschrieben haben, die Aufmerksamkeit wieder auf die so erzeugten Ströme gelenkt, und die Erzeugung kräftiger Ströme leicht gemacht ist. Doch können wir diesem so sinnreichen Apparate für therapeutische Zwecke nur eine untergeordnete Bedeutung zuschreiben. Denn diese Ströme leisten nichts Anderes, als kräftige Inductionsapparate. Und nur, wo diese nicht stark genug wirken, würde in einzelnen Fällen, von hartnäckiger Anästhesie z. B., wie Schwanda will, die Anwendung der Influenzmaschiene einen Werth haben.

§. 86. Diese Auseinandersetzungen werden genügen, um zu zeigen, wie man in jedem einzelnen Falle zu verfahre habe, um mit Hülfe der Inductionsströme Muskeln oder Nerven zu erregen. In welchen Fällen dies nöthig oder nützlich sei, dies zu untersuchen, ist hier nicht der Ort, das ist Gegenstand der Electrotherapie. Es bleibt uns nur übrig, noch Einiges über die Anwendung des constanten Stromes zu sagen. Zur Erregung von Muskelzuckungen oder von Schmerzempfindungen diesen anzuwenden, scheint unnöthig, da zu diesem Zweck die Inductionsströme viel geeigneter sind. Doch giebt es Fälle von Lähmungen, in denen die Inductionsströme ganz unwirksam sind, während die Schliessung und Oeffnung constanter Ströme starke Zuckungen bewirken. Ausserdem aber kann es aus anderen Gründen vortheilhaft sein, sich constanter Ströme zu bedienen. Die physiologischen Versuche haben ausser der erregenden Wirkung noch andere Einwirkungen der Ströme auf Muskeln und Nerven nachgewiesen. Diese „modificirenden" Wirkungen bestehen in Veränderungen der Erregbarkeit u. s. w., welche zum Theil während der Dauer des Stromes auftreten, zum Theil denselben überdauern. Leider sind die physiologischen Erfahrungen noch so gut wie gar nicht für eine rationelle therapeutische Verwerthung verwendbar. Und alle von den Electrotherapeuten bisher ange-

gebenen Indicationen für Anwendung des constanten Stromes können nur als auf (z. Th. sehr vereinzelter) Erfahrung beruhend, ohne jede klare theoretische Grundlage, angesehen werden.

Für die Anwendung der constanten Ströme sind natürlich dieselben Grundsätze maassgebend, wie für die Inductionsströme. Auch hier kommt es darauf an, die Bedingungen herzustellen, dass die grösste Stromdichte an der Stelle oder in dem Gebilde sich finde, auf welches man zu wirken beabsichtigt. Ausserdem aber hat man hier noch darauf zu achten, dass der Strom in den Nerven und Muskeln eine bestimmte Richtung habe, da diese auf die Wirkungen von Einfluss ist, was bei den Inductionsströmen nur in untergeordnetem Maasse der Fall ist.

Die Wahl der Kette ist vorzugsweise wichtig. Da der Widerstand der thierischen Theile sehr gross ist, auch bei Anwendung feuchter Electroden, so wird man stets eine Kette von vielen Elementen anwenden müssen, um nur einiger Maassen starke Ströme zu erzielen. Daniell'sche Elemente sind empfehlenswerth, da sie billiger und nicht so lästig sind, als die Grove'schen oder Bunsen'schen. Die von Warren de la Rue und Pincus angegebene Zinksilberkette ist vielleicht der Daniell'schen noch vorzuziehen, da ihre Behandlung einfacher ist. Unter den verschiedenen Modificationen der Daniell'schen Kette aber verdient vorzugsweise die von Siemens angegebene empfohlen zu werden. Braucht man aber sehr starke Ströme, so sind Grove'sche Ketten nicht zu umgehen. Die kleinen Grove'schen Elemente, welche du Bois-Reymond angegeben hat, sind dazu am vortheilhaftesten, da es auf die Grösse des Widerstandes bei der therapeutischen Anwendung nicht sehr ankommt.

Als Electroden wendet man dieselben an, welche bei Inductionsströmen dienen, mit Schwämmen überzogene Platten von verschiedener Grösse. Je grösser die Electroden sind, desto stärker wird der Strom, desto geringer aber auch ver-

hältnissmässig die Dichte an der Electrode selbst. Will man also auf tiefer gelegene Theile wirken, so bedient man sich zweier recht grosser Electroden. Soll aber die Wirkung mehr auf eine bestimmte Stelle localisirt werden, so muss die eine Electrode kleiner sein, um auf jene Stelle aufgesetzt zu werden, wo dann die Stromdichte am grössten wird.

Auf die Sinnesorgane wendet man die Ströme ganz in derselben Weise an. Man sucht den Electroden stets eine Lage zu geben, bei welcher die Stromdichte in dem betreffenden Organe ein Maximum wird. Aber dies ist nicht immer leicht zu erreichen. Bei der Retina z. B. oder dem N. opticus müsste man sich damit begnügen, die eine Electrode etwa auf den inneren Augenwinkel, die andere etwa auf die Schläfe aufzusetzen. Dabei fällt aber die gerade Verbindungslinie beider Electroden nur mit einem Theil der Retina zusammen und vor den Opticus. Aehnlich ist es bei anderen Sinnesnerven. Um auf den Acusticus zu wirken, füllt man den äusseren Gehörgang mit lauwarmem Wasser und taucht dahinein einen Draht; als andere Electrode setzt man auf die Schläfe oder in den Nacken eine grosse mit Schwamm überzogene Platte. Auf dieselbe Weise würde man auch den M. tensor tympani und den M. stapedius erregen. Die Centralorgane des Nervensystems sind durch ihre knöchernen Hüllen hindurch den Strömen ebenso zugänglich wie andere in gleicher Tiefe gelegene Organe.

§. 87. Für die Anwendung der rein physicalischen Wirkungen der Electricität auf die Gewebe gelten natürlich dieselben Grundsätze, wie wir sie eben für die physiologischen Wirkungen auf Nerven und Muskeln besprochen haben. Stets wird man dafür zu sorgen haben, dass da, wo die Wirkung stattfinden soll, die Stromdichte am grössten sei, während man im Uebrigen den Widerstand möglichst verkleinert, um die grösstmögliche Stromstärke zu erlangen.

Was zunächst die electrolytische Wirkung des Stromes betrifft, so hat man von derselben Anwendung zu machen versucht zur Zertheilung von Geschwülsten und dergleichen. Doch sind die Erfahrungen über diesen Punct noch sehr mangelhaft. Bei der Anwendung des Stromes für diesen Zweck wird man sich einer möglichst starken Kette von Daniell'schen oder Grove'schen Elementen bedienen müssen, und als Electroden grosse mit Schwämmen überzogene Platten anwenden.

Von sehr grosser Bedeutung und schon durch günstige Erfahrung erprobt ist die Anwendung der Electrolyse zur Heilung der Aneurysmen. Man bezeichnet dieses Verfahren gewöhnlich mit dem Namen der Galvanopunctur. Es handelt sich dabei um einen Fall der sogenannten secundären electrolytischen Wirkung. Wird nämlich ein Strom durch eine Flüssigkeit geleitet, so können die an der einen oder anderen Electrode durch die Electrolyse ausgeschiedenen Jonen wieder ihrerseits chemische Wirkungen ausüben. Man nennt dann eben diese Wirkungen secundär electrolytische. Dergleichen Fälle haben wir schon bei der Besprechung der constanten Ketten kennen gelernt, wo durch den ausgeschiedenen Wasserstoff das Kupferoxyd zu Kupfer reducirt wird (in der Daniell'schen Kette) oder Salpetersäure zu salpetriger Säure (in der Grove'schen; Vgl. §. 27 und 28). Leitet man den Strom durch Hühnereiweiss, Blutserum oder Blut, so werden die Salze dieser Flüssigkeiten zersetzt, am positiven Pole scheiden sich die Säuren aus und machen dort das Eiweiss gerinnen. Bringt man nun einen Strom so an, dass der positive Pol innerhalb einer Arterie oder eines Aneurysmasackes zu liegen kommt, so geschieht diese Gerinnung ebenfalls. An dem ausgeschiedenen Eiweiss setzt sich dann noch das Fibrin an, und man erhält so einen festen Verschluss des Aneurysmasackes. Um dies ins Werk zu setzen,

verbindet man mit dem positiven Pole der Kette eine feine Nadel von Platin oder Silber, welche bis auf eine kurze Strecke an der Spitze gut gefirnisst ist. Diese Nadel sticht man durch die Haut und Gefässwand hindurch in das Lumen der zu verschliessenden Arterie, bezüglich des Aneurysmasackes ein, so dass die freie Spitze mitten in dem Blute steht. Mit dem negativen Pole verbindet man eine grosse mit Schwamm überzogene Platte, welche man möglichst nahe dem Aneurysma auf die wohl durchfeuchtete Haut aufsetzt. Auf diese Weise erhält man einen kräftigen Strom, ohne dass bei dem grossen Querschnitt der negativen Electrode bedeutende Schmerzerregung stattfindet. Beide Pole mit Nadeln zu verbinden und in das Aneurysma einzuführen, ist nicht räthlich, da die Wirkung doch nur am positiven Pole stattfindet, und die etwas grössere Entfernung der Electroden durch den grossen Querschnitt der negativen mehr als compensirt wird. Für sorgfältige Isolirung der einzustechenden Nadel durch einen guten Firnissüberzug, welcher nur die Spitze frei lässt, muss man Sorge tragen, damit nicht ein Theil des Stromes seinen Weg durch die das Aneurysma bedeckenden Gewebe nehme und seine Wirkung verfehle. Auch ist es nothwendig, die zuführende Arterie während der Operation zu comprimiren, damit nicht die entstehenden Gerinnsel durch den Blutstrom fortgeschwemmt werden und zu Embolien Veranlassung geben.

Die Dauer des Stromdurchganges richtet sich natürlich nach der Grösse des Aneurysmasackes und der Stromstärke. Es lässt sich darüber keine allgemeine Angabe machen, sondern man wird in jedem einzelnen Falle zu entscheiden haben, wann der vollständige Verschluss erreicht ist. In Bezug auf die Stromstärke ist zu bemerken, dass man sich vor zu starken Strömen ebenso zu hüten habe, als vor zu schwachen. Bei den letzteren tritt die Wirkung zu langsam ein, bei zu grosser Stromstärke aber würde an der positiven Electrode eine stür-

mische Sauerstoffentwickelung auftreten, und dadurch das ausgeschiedene Gerinnsel sehr aufgelockert werden und nicht die genügende Festigkeit erlangen. Im Allgemeinen wird man mit einer Kette von 20 bis 25 Daniell'schen oder 10 bis 15 kleinen Grove'schen Elementen wol stets ausreichen.[1])

Die Vorzüge dieser Methode vor den sonstigen Behandlungsarten der Aneurysmen liegen auf der Hand. Die Wirkung geschieht schnell, sicher und ohne die geringste Verletzung, da das Einstechen so feiner Nadeln ja bekanntlich ganz unschädlich ist. Die ungünstigen Erfolge in einzelnen Fällen sind wol stets durch unzweckmässige Anwendung verschuldet gewesen und nicht der Methode selbst zuzuschreiben. Ihre Anwendbarkeit ist aber nur auf die Fälle beschränkt, wo das Aneurysma für die einzuführende Nadel zugänglich ist. Bei tiefer gelegenen wird zu dem Ende eine vorherige Bloslegung nicht zu umgehen sein. Die Galvanopunctur mit der Unterbindung zu verbinden, scheint nicht rathsam, da die letztere die Wirkung der ersteren nicht weiter zu fördern vermag, und es sich ja gerade darum handelt, die üblen Folgen der Unterbindung zu umgehen. Eine öftere Widerholung der Galvanopunctur wird, wenn die erste Anwendung richtig vorgenommen worden, wohl selten nöthig werden.

Auch für Teleangiectasieen und ähnliche Geschwülste ist die Galvanopunctur anwendbar. Doch sind hier wiederholte Sitzungen mit Wechsel des Einstichpunctes nicht zu entbehren.

Ebenfalls auf secundärer Electrolyse beruhend, aber bis jetzt noch nicht für die practische Anwendung geeignet, ist

---

[1]) Die Anwendung inconstanter Ströme oder gar solcher von wechselnder Richtung, wie sie die Inductionsapparate liefern, ist selbstverständlich für die Galvanopunctur ganz zu verwerfen. Ihre Empfehlung in Handbüchern der Chirurgie beruht nur auf Missverständnissen.

die Auflösung der Blasensteine. Bence Jones hat sich überzeugt, dass eine electrolytische Auflösung solcher Steine möglich ist. Die Anwendung zur Auflösung in der Blase selbst ist aber bis jetzt noch nicht versucht worden. Es müsste zu diesem Zwecke ein Instrument construirt werden nach Art des Percüteur von Heurteloup, dessen Arme jedoch von einander isolirt sind, um mit den Polen der Kette verbunden zu werden. Auch wäre es wohl nöthig, die Producte der Electrolyse schnell aus der Blase zu entfernen, da ihr Verweilen in derselben vielleicht schädlich sein könnte. Zu diesem Behufe müsste das zu gebrauchende Instrument noch gestatten, während der Operation die Blase auszuspülen, etwa nach Art des getheilten Catheters von Cloquet (sonde à double courant). Ein solches Instrument liesse sich ohne grosse Schwierigkeit ersinnen, und es wäre daher wohl der Mühe werth, weitere Versuche über diesen Gegenstand anzustellen.

Mit der electrolytischen Wirkung verwandt ist die fortführende Wirkung, welche der Strom entfaltet, wenn er Electrolyte durchströmt, die in capillaren Räumen enthalten sind. Es werden dann die Flüssigkeiten im Sinne des Stromes vom positiven nach dem negativen Pole hin in Bewegung versetzt. Man hat hiervon Anwendung zu machen versucht, um Medicamente in den Organismus einzuführen, damit sie auf tiefer gelegene Organe local einwirken könnten. Andere wollten wieder im Gegentheil im Körper befindliche Substanzen, wie Quecksilber, durch den Strom aus demselben entfernen. Die hierüber gemachten Angaben enthalten wohl sehr viel Falsches neben einigem Wahren. Es ist daher gerathen, das Urtheil darüber noch aufzuschieben. Practische Erfolge sind auf diesem Wege noch nicht erzielt.

§. 88. Wir kommen endlich zu einer der wichtigsten Anwendungen des Stromes, welche in der Chirurgie von epochemachender Bedeutung geworden ist, zur Galvanocaustik. Es ist Middeldorpff's Verdienst, diesen Zweig der chirurgischen Technik zur höchsten Vollkommenheit gebracht zu haben. Abweichend von den bisher besprochenen Anwendungen handelt es sich hierbei nicht um eine unmittelbare Wirkung des Stromes auf die Gewebe, sondern um die Benutzung der Wärme, welche der Strom in metallischen Leitern entwickelt.

Alle Leiter, metallische wie flüssige, welche von einem Strome durchflossen werden, erfahren dabei eine Erwärmung. Diese ist um so bedeutender, je grösser die Intensität des Stromes und je grösser der specifische Widerstand des Leiters ist, und zwar ist die Erwärmung proportional dem Quadrat der Stromintensität und direct proportional dem Widerstande des Leiters. Daraus folgt, dass ein Leiter, welcher in den Schliessungsbogen eingeschaltet ist, um so stärker erwärmt werden muss, je schlechter er, und je besser die übrigen Theile des Schliessungsbogens leiten. Hat man daher eine Kette von starker electromotorischer Kraft und geringem Widerstande, z. B. ein Grove'sches oder Bunsen'sches Element von recht grosser Oberfläche, und schliesst dasselbe durch einen Draht von Platin, welches bekanntlich zu den schlecht leitenden Metallen gehört, so kann man denselben in das heftigste Glühen versetzen, ja sogar schmelzen. Je kürzer und dünner der Draht ist, desto leichter gelingt es, ihn zum Glühen zu bringen. Denn jeder einzelne Theil des Drahtes schwächt durch seinen Widerstand die Stromstärke in allen übrigen Theilen, vermindert also ihre Erwärmung; je dünner aber der Draht ist, um so leichter geräth er auch schon durch eine geringere Erwärmung in's Glühen.

Die Galvanocaustik nun besteht in der Benutzung sol-

cher durch den Strom glühend gemachter Leiter an Stelle des gewöhnlichen Glüheisens. Vor diesem hat sie den grossen Vorzug, dass der Leiter kalt an die Stelle gebracht werden kann, wo die Wirkung erfordert wird, dass dann ein einfaches Schliessen des Stromes ihn zum Glühen bringt, und dass er nach vollbrachter Wirkung wieder kalt entfernt werden kann. Sie ermöglicht also die Anwendung des Cauteriums in Tiefen, welche sonst gar nicht zugänglich wären ohne Verletzung der höher gelegenen Theile. Dazu kommt noch, dass die Temperatur, welche man dem Galvanocauter zu ertheilen vermag, eine sehr viel höhere ist, als die des glühenden Eisens, und dass diese Temperatur während der ganzen Operationsdauer constant bleibt (vorausgesetzt natürlich, dass der Strom constant ist). Endlich kann man noch mit dem durch den Strom glühend gemachten Draht in Tiefen, welche sonst unzugänglich wären, schneiden und zwar ohne Blutung. Diese Andeutungen mögen genügen, die Wichtigkeit der Galvanocaustik klar zu machen. Wir können hier nicht auf die Einzelnheiten der galvanocaustischen Technik eingehen, sondern müssen uns, unserer Aufgabe gemäss, auf das rein Physicalische beschränken. Wir schliessen der leichteren Anschaulichkeit wegen die nöthigen Betrachtungen an einen concreten Fall an.

Gesetzt, eine Geschwulst (Polyp oder dergleichen) in der Tiefe einer Höhle sei zu entfernen. Middeldorpff hat zu diesem Zweck seine galvanocaustische Schneideschlinge angegeben, einen glühenden Platindraht, welcher schlingenförmig um die Basis der Geschwulst gelegt, dann glühend gemacht wird und nun durch langsames Zuschnüren der Schlinge die Geschwulst abschneidet und zugleich die Wunde cauterisirt.

Wir haben zunächst darauf zu achten, wie dick der Platindraht sei, welchen wir wählen. Je dicker der Draht

ist, desto schwerer ist er glühend zu machen, bei zu grosser Dünne aber kann der Draht leicht beim Zuschnüren reissen. Ist der Draht gewählt und um die Geschwulst geführt, so handelt es sich darum, ihm den Strom auf zweckmässige Weise zuzuführen. Dabei muss eine solche Anordnung getroffen werden, dass die Leitung bis zu der Schlinge hin einen möglichst geringen Widerstand bietet. Denn dadurch bleibt diese Leitung selbst kalt, während die Schlinge möglichst stark erwärmt wird. Middeldorpff steckt daher die Drahtenden der Schlinge in zwei parallele, durch Elfenbein von einander isolirte Röhren von Messing (Kupfer wäre noch besser), welche zugleich als Führung für das Zuschnüren dienen. Diesen Röhren wird der Strom durch dicke, mit Guttapercha überzogene Kupferdräthe zugeleitet. Zweckmässig ist es, an dem Heft der Schneideschlinge eine Vorrichtung anzubringen, welche den Strom durch einfachen Fingerdruck zu schliessen und zu öffnen gestattet.

Nun handelt es sich um die zweckmässige Wahl der Kette. Wir haben schon oben gesehen, dass die Kette eine möglichst grosse electromotorische Kraft und einen möglichst geringen Widerstand haben muss. Die Daniell'sche Kette ist daher selbstverständlich ganz ausgeschlossen. Möglichst grosse Grove'sche oder Bunsen'sche Elemente sind am zweckmässigsten, die letzteren aber vorzuziehen, da die ersteren zu theuer sind. Besonders zweckmässig für den vorliegenden Zweck ist die Form der Bunsen'schen Elemente, wo die Kohle die Gestalt einer dünnen ziemlich grossen Tafel hat, welche in einer schmalen parallelipedischen Thonzelle steht, während das diese möglichst enge umschliessende Zink in einem ebenfalls parallelipedischen Porzellantroge enthalten ist. Man erhält so Elemente von sehr geringem Widerstande, welche verhältnissmässig wenig Flüssigkeit zu ihrer Füllung bedürfen.

In neuerer Zeit hat man sich häufig der §. 28 erwähnten Grennet'schen Batterie für galvanocaustische Zwecke bedient. Diese Batterie hat einen sehr geringen Widerstand, da aber kein Diaphragma und nur eine Flüssigkeit vorhanden, so findet eine starke Polarisation statt, welche den Strom innerhalb sehr kurzer Zeit so sehr schwächt, dass der Platindraht nicht mehr zum Glühen gebracht werden kann. Um nun die Polarisation fortzuschaffen, bläst man mit einem Blasebalg atmosphärische Luft durch die Flüssigkeit, welche den entwickelten Wasserstoff fortspült. So lange geblasen wird, so lange glüht der Draht. Die Handhabung dieser Batterie ist allerdings einfacher, als die der Bunsen'schen, deren Dämpfe auch lästig werden. Doch in clinischen Anstalten, wo man der Batterie eine feste Stelle in einem Nebenzimmer anweisen und von da die Leitungsdrähte in den Operationssaal leiten kann, dürfte die Bunsen'sche Kette wegen der constanteren Wirkung doch den Vorzug verdienen. Vier Elemente der oben bezeichneten Art werden wol für alle Fälle ausreichen.

Eine bedeutende Erleichterung für die practische Anwendung der Galvanocaustik würde die Einführung der Siemens'schen dynomo-electrischen Maschiene an Stelle der Batterieen darbieten. Wir haben diese Maschiene oben im 8. Capitel bei den Inductionsapparaten aufgeführt. In der physiologischen Wirkung dieser ähnlich wird sie aber nur durch Anwendung des dort erwähnten Kunstgriffes, den durch die Induction erzeugten Strom durch eine kurze metallische Leitung in sich zu schliessen und dann durch plötzliche Unterbrechung dieses Stromes einen Extrastrom zu erzeugen, welcher zur Erregung von Muskeln und Nerven geeignet ist. Leitet man aber jene Ströme direct durch Platindrähte, so können diese in das heftigste Glühen versetzt werden. Die

Bequemlichkeit dieser Apparate, welche keiner durch ihre Dämpfe lästigen Batterie bedürfen und stets zum Gebrauch bereit sind, leuchtet ein, da es bei chirurgischer Operation wol selten an der zum Bewegen der Maschine nöthigen Kraft fehlen wird.

Bei Anwendung von Batterien aber, gleichgültig welche der oben erwähnten man benutzen möge, hat man in jedem einzelnen Falle zu entscheiden, wie viel Elemente und in welcher Art combinirt zu verwenden seien, damit der Platindraht die richtige Temperatur erhalte. Ist der Draht lang und dünn, sein Widerstand also gross, so muss man mehr Elemente hintereinander anwenden, bei einem kürzeren und dickeren Draht kann es vortheilhaft sein, die Elemente nebeneinander zu combiniren (Vgl. §§. 38 und 39). Zu dem Ende muss man wissen, wie das Verhältniss der Widerstände zwischen dem anzuwendenden Drahte und den Elementen ist. Die zu wählende Combination würde sich dann leicht berechnen lassen. In der Praxis wird es aber wol stets einfacher sein, die in jedem Falle zweckmässigste Combination durch Probiren zu finden. Hierbei ist aber Folgendes zu beachten: Legt man die Schlinge um die Geschwulst und schliesst den Strom, so wird ein sehr beträchtlicher Theil der im Draht erzeugten Wärme durch die Gewebe abgeleitet und besonders durch die Verdunstung vernichtet. Hat man also vor dem Umlegen der Schlinge die Combination gesucht, welche den Draht in der Luft gut weissglühend macht, so wird er nachher leicht zu kalt sein. Man muss dann den Strom noch etwas verstärken. Dann aber muss man sich hüten, den Strom zu schliessen, während der Draht in der Luft ist, er könnte sonst leicht schmelzen. Man muss daher so verfahren, dass man das Probiren möglichst unter denselben Umständen vornimmt, unter denen die Operation

geschehen soll. Man nehme daher einen feuchten Körper von dem Umfange der Geschwulst, etwa ein Stück Rindfleisch, lege die Schlinge um, und probire die Combination aus, bei welcher man das Fleisch gut schneiden kann, öffne den Strom, lege die Schlinge um die Geschwulst und operire. Auch ist es gut, eine Einrichtung zu haben, welche gestattet, während der Operation selbst die Stromstärke schnell und einfach zu ändern. Dies wird z. B. nöthig, wenn die Geschwulst einen sehr grossen Umfang hat. Schnürt man die Schlinge allmählich zu, so wird sie kürzer, damit aber auch heisser. Ist aber die Schlinge zu heiss, so kann es kommen, dass sie nicht mehr styptisch wirkt. Es ereignet sich dann dasselbe, wie in dem bekannten Leydenfrost'schen Versuche. Die Schlinge umgiebt sich mit einer Hülle von Wasserdampf, welcher ihre Wirkung auf die Umgebung hindert, so dass das Blut nicht gerinnt.

Um nun alle Combinationen, welche die vorhandenen Elemente gestatten, schnell herstellen und die zweckmässigste wählen zu können, ist es zweckmässig, eine Vorrichtung zu haben, in welcher die Pole der einzelnen Elemente mit Metallklötzen verbunden sind, die auf einsm Brette befestigt und mit passenden Einschnitten versehen durch einfaches Einstecken und Ausziehen von Stöpseln in der verschiedensten Weise mit einander verbunden werden können. (Gerade wie dies bei dem in Figur 22 abgebildeten Rheochord geschieht.) Middeldorpff hat schon einen derartigen Apparat angegeben. Um dann auch geringere Aenderungen der Stromstärke herstellen zu können, schaltet man noch in den Strom einen veränderlichen Widerstand ein, etwa eine mit Quecksilber gefüllte Röhre, in welcher man einen starken mit Guttapercha überzogenen und nur an der Spitze freien dicken Kupferdraht hin und her schieben kann. Je

tiefer der Draht in die Röhre hineingeschoben wird, desto stärker wird der Strom. Ueber die Behandlung der Kette vgl. §. 28.

Nicht unerwähnt mag endlich bleiben, dass man den galvanisch glühend gemachten Draht auch zu Beleuchtungszwecken, z. B. für Zahnuntersuchungen, empfohlen hat.

Register.

A.

Ableitender Bogen 100, gleichartiger 137, 141.
Ableitung zur Erde 11, 26; bei Inductionsrollen 107.
Ableitungsgefässe von du Bois-Reymond 138.
Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom 33, 42, 60; freiwillige astatischer Nadelpaare 132; durch die Drahtmassen 133; Compensation derselben 134.
Absorption der strahlenden Wärme 179.
Abstossung gleichnamiger Electricitäten 1, 3, 14, 16.
Amalgamirung des Zinks 54, 56, 138.
Amalgamirflüssigkeit 55.
Ampère'sche Regel 43.
Aneurysmen, Heilung derselben 200.
Anion 45.
Anode 45.
Anordnung, Helmholtz'sche, am Magnetelectromotor 119.
Anziehung ungleichnamiger Electricitäten 1, 3, 14, 16.
Armstrong's Hydroëlectrisirmaschiene 4.
Astasie 131, 155.
Astatisches Nadelpaar 131; freiwillige Ablenkung desselben 132.
Augenmedien, Absorption der Wärmestrahlen in denselben 179.
Auslader 30.
Ausserwesentlicher Widerstand 71.

B.

Batterie, electrische, 22; galvanische 40.
Becquerel: Thermoelectrische Spannungsreihe 168; Wärmeentwickelung bei der Muskelcontraction 178.
Beetz: Widerstand von Zinkvitriollösungen 68.
Berührungselectricität 35.
Bestimmung des Widerstandes 64, 93; electromotorischer Kräfte 143; der Stromstärke 60, 148, 151.
Blasensteine, Auflösung derselben 203.
Blitzrad 115.
Blut, Gerinnung desselben 200.
du Bois-Reymond: unpolarisirbare Electroden 56; innere Polarisation 58; Rheochord 86, 90; Magnetelectromotor 117; zeitlicher Verlauf der Inductionsströme 120; Ableitungsgefässe 138; Bestimmung electromotorischer Kräfte 143; Muskelunterbrecher 154.
Brücke, Wheatstone'sche 93.
Brücke: Absorption der Wärmestrahlen durch die Augenmedien 179.
Bunsen'sche Kette 52.

C.

Centralorgane des Nervensystems 199.
Combination der Elemente 73.

Commutatoren 77; Stöhrer's Commutator 125.
Compensation der Ablenkung durch die Drahtmassen 134; electromotorischer Kräfte 143; des Erdmagnetismus bei Spiegel-Tangentenbussolen 155; der Thermoströme 177.
Condensator 18.
Conductor 18.
Constante Ketten 50.
Constante Ströme 59; Anwenduug derselben in der Therapie 197.
Contactelectricität 35.
Contactströme 38.
Coulomb's Drehwage 8.
Curven: Strömungscurven 98, 139; Spannungs- oder isoëlectrische Curven 140.

D.

Daniell'sche Kette 50; modificirt von Meidinger 52; von Siemens und Halske 52.
Dichte der Electricität 10; des Stromes 79; in unregelmässigen Leitern 99, 185.
Drahtbündel als Kerne der Inductionsspiralen 112.
Drehwage von Coulomb 8.
Duchenne: Faradisation localisée 184; Pinsel- und Schwammelectroden 187.
Dynamo-electrische Maschiene von Siemens 127, Anwendung zur Galvanocaustik 207.
Dynamometer, Weber'sches, 163.

E.

Edlund's Versuch zum Nachweis des Extrastromes 110.
Einfache Kette 38.
Einsauger 17.
Eisenkern der Inductionsspiralen 111.
Electricitätserregung durch Reibung 2; durch Vertheilung 14; durch Contact 35; durch Induction 104; durch Temperaturdifferenzen 166.
Electricitätsmenge 47, 59, Messung derselben 164.
Electrisirmaschiene 7.
Electroden 45; unpolarisirbare 55; für therapeutische Zwecke 187.
Electrodynamometer 163.
Electrolyse 44; Anwendung derselben in der Therapie 200.
Electrolyte 45.
Electromagnetismus 103.
Electrometer 4, 8.
Electromotorische Kraft 37, 59; Messung derselben 143.
Electromotorische Oberfläche 142.
Electromotorische Wirkung thierischer Theile 137 ff.
Electrophor 23.
Electroscop 4.
Electrotherapie 181.
Erregung der Muskeln und Nerven 33, 111, 181; der sensibelen Nerven 196, einzelner Muskeln 189.
Extracurrent 109.
Extrastrom 109; sein Einfluss auf die Ströme der secundären Spirale 113; seine Anwendung zur Muskelerregung 194.

F.

Faraday's Benennung der Pole u. s. w. 45; Gesetz der festen electrolytischen Action 47; Inductionsströme 104.
Faradisation localisée 184.
Flächen, isoëlectrische 141.
Flüssigkeiten, electrische 1.
Flüssige Leiter 33; Zersetzung derselben 44; Widerstand 67.
Fortführende Wirkung des Stromes 203.
Freie und gebundene Electricität 16.
Freiwillige Ablenkung astatischer Nadelpaare 132.
Fundamentalversuch von Volta 35.
Funke, electrischer 31, 42, 106.
Fusspunkte des ableitenden Bogens 100, 141.

G.

Galvanocaustik 204.
Galvanometer, s. Multiplicator, Tangentenbussole, Spiegelbussole.
Galvanopunctur 200.
Gasanalyse 32.
Gebundene Electricität 16.
Geisler'sche Röhren 33.
Gemsbart 4.
Gerinnung des Eiweisses durch secundär-electrolytische Wirkung 200.

Geschlossene Kette 38; Spannung im Schliessungsbogen 40.
Gesetz der festen electrolytischen Action 47; Ohm'sches 63.
Glaselectricität 4.
Gleichartiger Bogen 137.
Glühen von Drähten durch den Strom 204.
Goldblattelectroscop 5, 20.
Graduirung des Multiplicators 149; des Thermomultiplicators 172.
Grennet'sche Kette 53.
Grotthuss'sche Theorie der Electrolyse 45.
Grove'sche Kette 51.
Gyrotrop 77.

H.

Halske'scher (Wagner'scher) Hammer 115.
Hammer, selbstthätiger electromagnetischer (Halske'scher oder Wagner'scher) 115.
Harzelectricität 4.
Heidenhain's mechanischer Tetanomotor 116; Messung der bei der Muskelzusammenziehung gebildeten Wärme 178.
Helmholtz: Modification am Magnetelectromotor 118; Princip der electromotorischen Oberfläche 142; Zeitmessung 159; Wärmebildung bei der Muskelcontraction 178.
Holtz'sche Maschiene 22.
Hydroëlectrisirmaschiene 4.

I. J.

Jansen: Absorption der Wärmestrahlen durch die Augenmedien 179.
Inconstanz der Kette 48.
Induction 104.
Inductionsströme durch Bewegung von Leitern 104; durch Schliessung und Oeffnung 105; durch Bewegung von Magneten 110; zeitlicher Verlauf 110; Wirkung derselben 111, 183.
Influenz 13, 15.
Influenzmaschiene 22; Anwendung derselben 197.
Intensität des Stromes 60; Bestimmung derselben 60, 148, 151.
Ionen 45.
Isoëlectrische Curven und Flächen 140.
Isolatoren 6.
Isolirte Erregung einzelner Muskeln und Nerven 184 ff.

K.

Kathode 45.
Kation 45.
Kette, einfache 38; zusammengesetzte 40; constante 50; Daniell'sche 50; Grove'sche 51; Bunsen'sche 52; Meidinger'sche 52; Siemens und Halske'sche 52; Grennet'sche 53; Warren de la Rue und Müller' (Pincus')sche 54; Wahl der Ketten 74, 198, 206.
Kirchhoff'sche Formeln, 83.
Kleist'sche Flasche 20.
Klemmschrauben 76.
Knallgas 32.
Knallgasvoltameter 47.
Kupfervoltameter 47.

L.

Ladung der Kleist'schen Flasche 21.
Lane's Maassflasche 31.
Leiter der Electricität 6.
Leitungsvermögen 66; der Metalle 66; der Flüssigkeiten 67; Abhängigkeit von der Temperatur 70; thierischer Theile 186.

M.

Maassflasche 31.
Magnetelectromotor 117; Helmholtzsche Anordnung an demselben 118.
Magnetnadel, Ablenkung derselben durch den Strom 33, 42, 60; astatisches Magnetnadelpaar 131; freiwillige Ablenkung desselben 132.
Magneto-electrische Rotationsapparate 124.
Magnetometer 155
Maschiene: Holz'sche Influenz 22; Saxton'sche oder magneto-electrische 124; Siemens' dynamo-electrische 125, 207.
Meidinger's Modification der Daniell-schen Kette 52.
Menge der Electricität 47, 59; Messung derselben 31, 164.

Messung von Widerständen 64, 93; electromotorischer Kräfte 143; der Stromstärke 60, 148, 151; kurzdauernder Ströme 156; veränderlicher Ströme 164; kleiner Zeiten 157; von Temperaturen 172, 174; der Absorption von Wärmestrahlen 179.
Middeldorpff: Galvanocaustik 204; Schneideschlinge 205.
Mittheilung der Electricität 7, 9.
Modificirende Wirkung des Stromes 181, 197.
Motorische Puncte 191.
Multiplicator 43, 129, 135; Graduirung desselben 149; Thermomultiplicator 172.
Muskeln, Wirkung des Stromes auf dieselben 33, 111, 181; isolirte Erregung 189.
Muskelunterbrecher 159.
Muskelzusammenziehung; zeitlicher Verlauf 159; Wärmebildung bei derselben 177; Hervorbringung 33, 111, 181, 189.

N.

Nebenschliessung 86, 92; Anwendung bei Inductionsapparaten 118.
Neff's Inductionsapparat 117.
Negative Electricität 1, 3.
Negativer Pol 39; stärkere Wirkung desselben bei der Muskelerregung 193.
Nerven, Wirkung des Stromes auf dieselben 181, 197.
Neutralelectrischer Zustand 2.
Nichtleiter 6.
Nicht prismatische Leiter 95, 139, 194.
Nobili's astatisches Nadelpaar 131.

O.

Oberfläche, electromotorische 142.
Oeffnung des Stromes 42.
Oeffnungsinductionsstrom 105; physiologische Wirkung desselben 113; zeitlicher Verlauf 120.
Offene Kette 38; Spannung an den Polen 40.
Ohm'sches Gesetz 63, 65.

P.

Paalzow, Widertand von Schwefelsäuremischungen 67.
Pincus'sche Kette 53.
Poggendorf's Spannungsreihe 37.
Pohl'sche Wippe 77.
Pole der Kette 39.
Polarisation 49; innere 58; an der Grenze ungleichartiger Electrolyte 58.
Polarisationsströme 49.
Positive Electricität 1, 3.
Positiver Pol 39.
Primäre Spirale 105; Extrastrom derselben 113; Einfluss desselben auf den Verlauf der secundären Ströme 113, 120; Anwendung zur Muskelerregung 194.
Princip der electromotorischen Oberfläche 142.
Prismatische Leiter 81.
Probescheibchen 12.
Puncte, motorische von Remak 191.

R.

Regnauld, unpolarisirbare Combination 56.
Reibungselectricität 2.
Reize 182.
Remak's motorische Puncte 191.
Rheochord 85; von du Bois-Reymond 86; einsaitiges 89; kreisförmiges von du Bois-Reymond 90; Benutzung zu Widerstandsmessungen 93; zur Messung electromotorischer Kräfte 143; zur Graduirung des Multiplicators 149.
Rheostat von Wheatstone 68; von Siemens und Halske 69.
Richtung des Stromes 28, 39; der Inductionsströme 104; Bestimmung derselben 42, 137, 193.
Rotationsapparate, magneto-electrische 124, 126.
Rückschlag 34.

S.

Saxton'sche Maschiene 126.
Schlagweite 31.
Schliessungsbogen 38.
Schliessungs-Inductionsstrom 104; Verzögerung desselben 112; zeitlicher Verlauf 120.

Schlittenmagnetelectromotor 117.
Schneideschlinge, galvanocaustische 205.
Schlüssel 92.
Secundäre Ströme 49; s. a. Inductionsströme.
Secundäre Spirale 106.
Secundär - electrolytische Wirkung 200.
Sensible Nerven, Erregung derselben 186.
Siemens: Widerstandseinheit 65; dynamo-electrische Maschiene 127; Anwendung zur Galvonocaustik 207.
Siemens und Halske, Modification der Daniell'schen Kette 52, Rheostat 69.
Sinnesorgane, Erregung derselben 199.
Spannung der Electricität 11; der Kettenpole 37; im Schliessungsbogen 40.
Spannungscurven 140; Bestimmung derselben 143.
Spannungsflächen 141.
Spannungsreihe: Volta'sche 36; Poggendorf'sche 37; thermoëlectrische 168.
Spannweite des ableitenden Bogens 100.
Spiegeltangentenbussole 151.
Stärke des Stromes 60.
Stöhrer's Commutator 125.
Strom, electrischer 26; galvanischer 38; Richtung desselben 28, 39; Wirkungen 30.
Stromdichte 79; in unregelmässigen Leitern 99, 185.
Stromescurven in nicht prismatischen Leitern 98.
Stromstärke 60; Messung derselben 60, 148, 151.
Stromvertheilung in nicht prismatischen Leitern 95.
Stromverzweigung 81.
Stromwender 77.
Superposition electromotorischer Kräfte 142.

T.

Tangente des Ablenkungswinkels 61.
Tangentenbussole 62; mit Spiegelablesung 151.
Telcangiectasieen 202.
Temperaturmessung 172, 174.
Thätigkeit der Muskeln 181.
Theilung des Stromes 82.
Theorie des Stromes 26, 40; der Kette 63; der Electrolyse nach Grotthuss 45; der Stromvertheilung in unregelmässigen Leitern 95, 139; der electomotorischen Wirkung thierischer Theile 139; der isolirten Erregung einzelner Muskeln und Nerven 184 ff.
Therapeutische Verwendung der Electricität 181 ff.
Thermoëlectricität 166.
Thermoëlectrische Spannungsreihe 168.
Thermoëlemente 168.
Thermomultiplicator 172.
Thermonadeln 174.
Thermosäule 171.
Thermoströme 167.
Trägheitsmoment schwingender Magnetstäbe 155, 158.

U.

Unbeständigkeit der Kette 48.
Unipolare Inductionswirkung 106; Verhütung derselben 408.
Unpolarisirbare Electroden 55.
Unregelmässige Leiter 95.
Unterbrecher, selbstthätiger electromagnetischer 115; Muskelunterbrecher 159.
Unvollkommene Schliessung der Inductionsspiralen 107.

V.

Veränderliche Ströme 164.
Verhütung unipolarer Erregung 108.
Verlauf, zeitlicher, der Inductionsströme 120; der Muskelzusammenziehung 159.
Vertheilung der Electricität 13.
Verzweigte Leitungen 82.
Volta's Condensator 18; fundamentalversuch 35; Spannungsreihe 36.
Voltameter 46.

W.

Wärmebildung bei der Muskelzusammenziehung 177.
Wärmestrahlen 177; Absorption derselben 179.

Waguer's Hammer 115.
Wahl der Ketten 74; für therapeutische Zwecke 198; 206.
Warren de la Rue's und Müller's Kette 53.
Wasserzersetzung 44.
Weber's Electrodynanometer 163.
Wesentlicher Widerstand 71.
Wheatstone's Rheostat 68; Brücke 93.
Widerstand 63; der Metalle 66; der Flüssigkeiten 67; Abhängigkeit von der Temperatur 70.
Widerstandseinheit 65.
Widerstandsmessungen 64, 93.
Wiedemann: Spiegeltangentenbussole 151; thermoëlectrische Messungen 168.
Wirkuugen des Stromes 32, 33, 42, 44.

Z.

Zeitlicher Verlauf der Inductionsströme 120; der Muskelzusammenziehung 159.
Zeitmessung, electrische 157.
Ziemssen: motorische Puncte 191.
Zusammengesetzte Kette 40.

Berichtigung.

S. 92. Z. 8. v. unten liess 21. statt 20.

Druck von H. S. Hermann in Berlin.

PAPER STUCK ON PAGE OBSCURING TEXT ON P.47